

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA

Escola Superior Agrária

Mestrado em Engenharia do Ambiente

**Tratamento de águas residuais urbanas por precipitação
química com mistura manual e reutilização da água tratada
em sistema hidropónico com luz LED para cultivo de alface
(*Lactuca sativa var. crispa*)**

Elaborado por:

Tânia Rute Aires Correia

Beja

2019

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BEJA

Escola Superior Agrária

Mestrado em Engenharia do Ambiente

Tratamento de águas residuais urbanas por precipitação química com mistura manual e reutilização da água tratada em sistema hidropónico com luz LED para cultivo de alface (*Lactuca sativa var. crispa*)

Projeto de Dissertação realizado na Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja e na Base Antártica Búlgara, São Clemente de Ohrid, com o apoio do PROPOLAR- Programa Polar Português e financiamento FCT-Fundação Para a Ciência e Tecnologia e da Câmara Municipal da Vidigueira

Elaborado por:

Tânia Rute Aires Correia

Orientado por:

Doutora Maria de Fátima Carvalho

Doutora Mariana Regato

Doutora Adelaide Almeida

Beja

2019

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas, às quais quero expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Doutora Fátima Carvalho, Doutora Adelaide Almeida, Doutora Marina Regato, Doutora Maria João Carvalho, Doutora Teresa Santos e ao Prof. Nuno Pereira.

À D. Mariana, D. Libânia, Dr. Ivone, Eng.^a Maria José, Eng.^a Isabel, Eng.^a Célia, Eng.^o António Floro, Eng.^a Elisabete, Eng.^a Idália e Eng.^a Maria da Natividade pelo apoio nos laboratórios.

Ao PROPOLAR e a todos os seus colaboradores.

À Base Antártica Búlgara, ao seu staff e colaboradores.

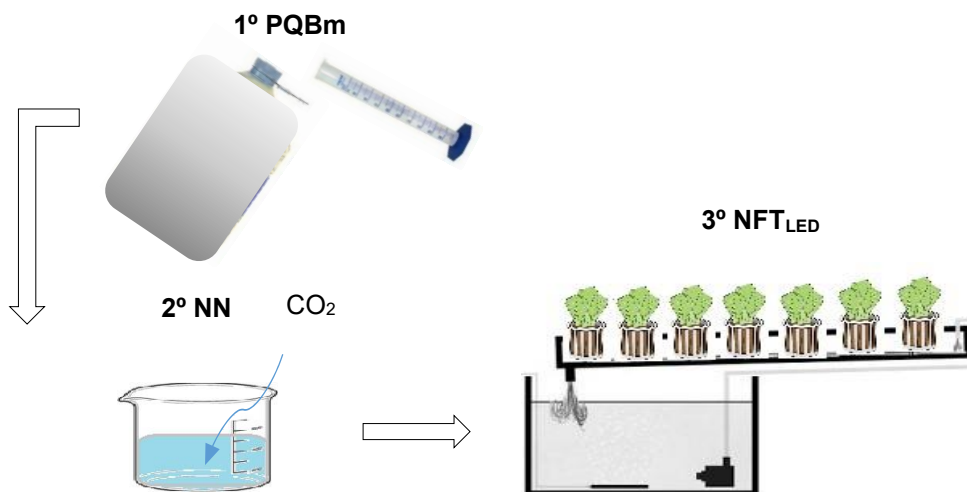
À Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja.

E finalmente a todos os que contribuíram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Resumo

A caracterização físico-química das águas residuais urbanas da Vila da Vidigueira (ARUV) e domésticas da Base Antártica Búlgara, permitiu categorizar as mesmas como tendo uma elevada carga orgânica e nutritiva. O estudo do processo de precipitação química básica aplicada às ARUV mostrou que o reagente que permitia obter melhores resultados como sendo a cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), aplicada a $0,7\text{g L}^{-1}$, com pH de reação de 11,5. O sobrenadante foi neutralizado naturalmente (NN) em 4-9 dias e utilizado como solução nutritiva (SN) num sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technology) com iluminação LED (NFT/LED) para o cultivo de alface. O sistema de tratamento PQBm+NN+NFT/LED alcançou remoções de: 93%-CQO; 91%-CBO₅; 93%-P_{total}, 94%-N_{total}, e 100% para coliformes totais para as ARUV e 86%-CQO; 93%-P_{total} e 66%-N_{total} para as ARDA. A análise sensorial das alfaces cultivada (com efluente do PQBm+NN como SN e com SN comercial) mostrou poucas diferenças estatísticas significativas entre as plantas, no entanto, as plantas cultivadas com SN comercial apresentaram resultados mais elevados em todos os parâmetros agronómicos observados (número de folhas, peso, altura e diâmetro do repolho).

Resumo gráfico

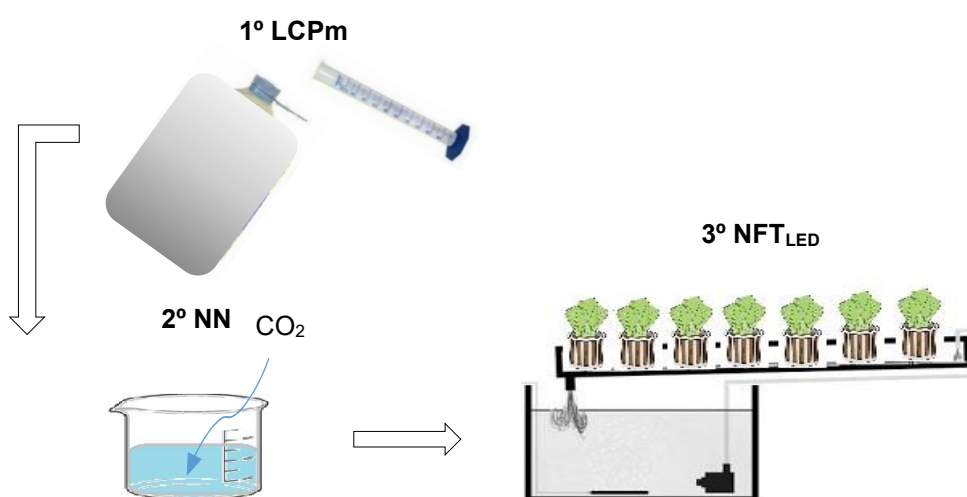


Palavras-Chave: Águas residuais; Antártica; Precipitação química; Captura de CO_2 ; Hidroponia

Abstract

The physical-chemical characterization of the urban wastewaters of the Vidigueira Village (ARUV) and domestic wastewaters of the Bulgarian Antarctic Base (ARDA), allowed to categorize them as having a high organic and nutrient load. The study of the lime chemical precipitation process (LCP) applied to the ARUV showed that the reagent that held the best results was the hydrated lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), applied to 0.7g L^{-1} , at a reaction pH of 11.5. The supernatant was naturally neutralized (NN) in 4-9 days and used as nutrient solution (NS) in an NFT (Nutrient Film Technology) hydroponic system with LED lighting (NFT/LED) for lettuce cultivation. The PQBm+NN+NFT/LED treatment system achieved removals of 93%-COD; 91%-CBO₅; 93%-TP, 94%-TN and 100% for total coliforms when applied to the ARUV and of 86%-COD; 93%-TP and 66%-TN when applied to the ARDA. Sensory analysis of the lettuce cultivated with treated wastewater as NS and commercial NS showed few significant statistical differences between the plants, however, plants cultivated with the commercial NS showed higher results in all agronomic parameters (number of leaves, weight, height and plant diameter).

Graphical abstract



Keywords: Wastewater; Antarctica; Chemical precipitation; CO₂ capture; Hydroponics

Índice geral

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS	1
1.1.1 Caracterização das águas residuais urbanas	1
1.1.2 Produção de águas residuais urbanas	3
1.2 REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS	3
1.2.1 Considerações gerais	3
1.2.2 Reutilização de águas residuais em rega agrícola	4
1.2.3 Vantagens da reutilização agrícola das águas residuais urbanas	6
1.2.4 Limitações à reutilização agrícola de águas residuais urbanas	6
1.2.5 Requisitos legais para reutilização em rega agrícola ou descarga de águas residuais urbanas	6
1.3 TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS PARA REUTILIZAÇÃO EM REGA AGRÍCOLA	10
1.3.1 Tratamento das águas residuais por precipitação química básica e neutralização natural	11
1.3.2 Utilização de sistemas hidropónicos no tratamento e reutilização de águas residuais	13
1.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	20
2. MATERIAIS E MÉTODOS	21
2.1 RECOLHA DE ÁGUA RESIDUAL BRUTA	21
2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS	22
2.2.1 Caracterização físico-química e microbiológica das águas residuais	22
2.2.2 Avaliação agronómica das alfaces produzidas no sistema hidropónico NFT/LED	23
2.2.3 Análise sensorial das alfaces produzidas no sistema hidropónico NFT/LED	23
2.2.4 Análise estatística	24
2.2.5 Cálculos	25
2.3 INSTALAÇÕES E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	25
2.3.1 Ensaio de precipitação química básica	25
2.3.2 Ensaio de neutralização natural	26
2.3.3 Ensaio de reutilização em cultivo hidropónico	27
2.4 ENSAIO NA ANTÁRTICA	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS BRUTAS	33
3.1.1 Características das ARUV	33
3.1.2 Características das ARDA	33
3.2 PRECIPITAÇÃO QUÍMICA BÁSICA	34
3.2.1 Estudo da influência do reagente precipitante com agitação mecânica	34
3.2.2 Estudo da influência do método de agitação na precipitação química	38
3.3 NEUTRALIZAÇÃO NATURAL	39
3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO EFLUENTE OBTIDO POR PQNM+NN	40

3.4.1	Comparação da eficiência da PQNm e NN nas ARUV e ARDA.....	40
3.4.2	Comparação da qualidade do efluente obtido por PQNm e NN nas ARUV e nas ARDA	41
3.5	ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA TRATADA POR PQBM+NN COMO SOLUÇÃO NUTRITIVA EM SISTEMA NFT/LED PARA CULTIVO DE ALFACE.....	43
3.5.1	Monitorização da reutilização do efluente tratado como solução nutritiva no sistema NFT/LED	44
3.5.2	Avaliação da eficiência do sistema NFT/LED na afinação do efluente tratado por PQBm e NN	45
3.5.3	Avaliação da qualidade do efluente obtido no sistema NFT/LED	47
3.5.4	Avaliação da eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED.....	48
3.5.5	Avaliação das plantas de alface (<i>Lactuca sativa var. crispa</i>).....	49
3.5.6	Análise sensorial das alfaces (<i>Lactuca sativa var. crispa</i>).....	54
4.	CONCLUSÕES	58
5.	BIBLIOGRAFIA	60
	ANEXOS	64

Índice de Figuras

Figura 1 -Volume de reutilização no mundo de AR brutas/tratadas	4
Figura 2 – Principais aplicações em reutilização de AR tratadas na EU	5
Figura 3 -Base Antártica Búlgara, Ilha Livingston, Antártica.....	21
Figura 4- ETAR do Parque Empresarial e Industrial da Vidigueira.	22
Figura 5 – Sistema de cultivo NFT/LED desenvolvido	28
Figura 6 - Gráfico de solubilidade de CaCO_3 em água.....	35
Figura 7 –Parâmetros analisados no estudo do melhor reagente precipitante e melhor pH de trabalho.	37
Figura 8 - Gráficos representativos do pH e CE durante NN, para o efluente exposto à atmosfera e para o efluente com injeção de ar.....	40
Figura 9 – Diagrama de Trough de disponibilidade de nutrientes	43
Figura 10 - Gráficos representativos do pH e CE durante o ensaio de cultivo hidropónico	45
Figura 11 – Evolução no diâmetro do repolho e no número de folhas para as plantas cultivadas, de acordo com a SN e o substrato utilizado.	51
Figura 12- Peso fresco e comprimento (total, aéreo e radicular) das plantas cultivadas de acordo com a SN e substrato utilizado.	52
Figura 13- Perfil sensorial das alfaces cultivada.....	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores típicos dos principais parâmetros físico-químicos para ARUB.	1
Tabela 2 - Critérios de qualidade para a reutilização de AR tratadas em rega.	8
Tabela 3 - Parâmetros de descarga para ARU tratadas consoante e local de descarga (nível de tratamento) para ao parâmetros analisados no presente estudo.	10
Tabela 4 – Tipos de sistemas de cultivo hidropónico.	15
Tabela 5 – Sistemas hidropónicos para tratamento de ARU e ARD.	18
Tabela 6 – Métodos analíticos utilizados para a caracterização físico-química e microbiológica das AR.....	23
Tabela 7 - Métodos e valores das condições experimentais aplicados durante a seleção do melhor reagente e pH de trabalho.	25
Tabela 8 - Parâmetros experimentais aplicados durante a o ensaio de neutralização natural..	26
Tabela 9 - Parâmetros experimentais de dimensionamento e funcionamento do sistema NFT/LED	29
Tabela 10 - Quantidade de nutrientes necessários para fazer 1L de solução “stock”.	30
Tabela 11 - Caracterização físico-química das AR analisadas.	34
Tabela 12 – Qualidade do efluente do tratamento por PQB resultante de agitação manual e agitação mecânica.	38
Tabela 13 - Qualidade do efluente e % de remoção após processo de tratamento por PQBm+NN.....	42
Tabela 14 – Qualidade do efluente e % de remoção após afinação em sistema hidropónico NFT/LED.....	48
Tabela 15 – Eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED.	49

Tabela 16 – Índices de crescimento das plantas de acordo com o tipo de SN e substrato utilizado.	52
Tabela 17 – Valores para o desenvolvimento das plantas de alface durante o ensaio na Antártica.	53
Tabela 18 – Análise estatística do perfil sensorial das alfaces cultivada.	57

Lista de Siglas e Abreviaturas

AEA – Agência Europeia do Ambiente (EEA – <i>European Environmental Agency</i>)	NFT – <i>Nutrient film technique</i>
APA – Agência Portuguesa do Ambiente	NFT/LED – <i>Nutrient film technique</i> com luz LED
AR – Águas residuais	NN – Neutralização natural
ARD – Água residual doméstica	OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ARDA – Água residual doméstica da Antártica	ONU – Organização das Nações Unidas
ARDB – Água residual doméstica bruta	P – Fósforo
ARU – Água residual urbana	PAR – <i>Photosynthetically active radiation</i>
ARUB – Água residual urbana bruta	PEIV – Parque empresarial e industrial da Vidigueira
ARUV – Água residual urbana da vidigueira	PQB – Precipitação química básica
BAB – Base Antártica Búlgara	PQBm – Precipitação química básica com mistura manual
CBO₅ – Carência bioquímica de oxigénio	SDT – Sólidos dissolvidos totais
CE – Condutividade elétrica	SN – Solução nutritiva
DWC – <i>Deep water culture</i>	SST – Sólidos suspensos totais
CQO – Carência química de oxigénio	UE – União Europeia
DLI – <i>Daily light integral</i>	UV – Ultravioleta
ETAR – Estação de tratamento de águas residuais	VLE – Valor limite de emissão
FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura	VMA – Valor máximo admitido
N – Azoto	VMR – Valor limite recomendado

1. Introdução

1.1 Águas residuais urbanas

As águas residuais urbanas (ARU), segundo o Decreto lei nº 236/98 são águas residuais domésticas (provenientes de instalações residenciais e serviços, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas) ou a mistura destas com águas residuais industriais e/ou com águas pluviais.

1.1.1 Caraterização das águas residuais urbanas

Na Tabela 1 estão representados os valores típicos dos principais parâmetros físico-químicos de caraterização das águas residuais urbanas brutas (ARUB), identificados para a realidade norte americana e para a realidade portuguesa (Monte et al., 2010).

Tabela 1 - Valores típicos dos principais parâmetros físico-químicos para ARUB.

Parâmetros	Unidades	Concentração			
		América do Norte		Portugal	
		Variação	Típico	Variação	Típico
SST	mg L ⁻¹	120-400	210	90-430	190
CBO ₅	mg O ₂ L ⁻¹	110-350	190	444-1338	290
CQO	mg O ₂ L ⁻¹	250-800	430	746-1946	608
CBO ₅ / CQO	-	-	0,44	-	0,48
N _{total}	mg N L ⁻¹	20-70	40	53-88	60
P _{total}	mg P L ⁻¹	4-12	7	3,5-13	8,5

Adaptado de: Monte et al., 2010.

Como se pode observar na Tabela 1, as ARUB apresentam, um teor de SST na gama de 120 a 430 mg L⁻¹ e um teor de matéria orgânica na forma de carência química de oxigénio (CQO) que pode variar entre 250 mgL⁻¹ a 1946 mgL⁻¹. Além disso, as ARUB apresentam, em média, um índice de biodegradabilidade, avaliado pela relação CBO₅/CQO de 0,44 (realidade norte americana) e 0,48 (realidade portuguesa), Tabela 1, esta relação é importante pois indicia o grau

de biodegradabilidade da matéria orgânica existente nas ARUB. Uma relação CBO_5/CQO de $> 0,5$ indica elevada biodegradabilidade, entre 0,4 e 0,5 indica uma biodegradabilidade média, $<0,4$ pode-se considerar o efluente pouco biodegradável (Nagwekar, 2014). Para além disso as ARUB apresentam geralmente um pH ácido ou ligeiramente alcalino, na gama de 6,7-7,8 e uma alcalinidade na faixa de 62,1-367 mg L⁻¹ (Prazeres et al., 2017).

Relativamente aos nutrientes azoto (N) e fósforo (P), se considerarmos as duas realidades apresentadas na Tabela 1, verifica-se que as ARUB apresentam valores típicos de N_{total} na gama de 20- 88 mg L⁻¹ e P_{total} na gama de 4-13 mg L⁻¹. Nas ARUB o N está presente, principalmente, na forma de ião amónio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e nitrito (NO₂⁻) (Prazeres et al., 2017). O fósforo ocorre maioritariamente como fósforo solúvel, ou seja como ortofosfatos (PO₄³⁻) (Monte et al., 2016).

Estes nutrientes, azoto e fósforo, são considerados como nutrientes indispensáveis e em quantidades superiores às de outros elementos para o desenvolvimento das plantas (Prazeres et al., 2017), dotando assim as ARUB de potencialidades de reutilização como fertilizantes para a agricultura ou para a aquacultura (Prazeres et al., 2017).

No entanto, se estes nutrientes não forem eficientemente removidos antes da descarga nos meios recetores aquáticos irão potenciar a eutrofização da água com consequentes blooms de plantas macroscópicas e microscópicas e assim provocar o desequilíbrio do ecossistema do meio recetor (Monte et al., 2016).

1.1.2 Produção de águas residuais urbanas

Estima-se que a produção mundial anual de ARU seja de 330 Km³ ((Mateo-Sagasta et al., 2015). Na Europa, a produção de águas residuais urbanas ascende a 26 km³ anuais (dados compilados a partir da EUROSTAT para o ano de 2010, Anexo 1).

Em Portugal o efluente final das estações de tratamento de ARU (ETAR) constitui um apreciável volume de água, superior a 0,58 km³ anuais, capaz de garantir 10% das necessidades de água do setor agrícola (Monte et al., 2010).

1.2 Reutilização de águas residuais

1.2.1 Considerações gerais

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU (Objetivo 6) apontam para a reutilização de águas residuais (AR) como meio de melhorar a estrutura de saneamento e tornar a gestão da água mais sustentável.

Na União Europeia a reutilização de água faz já parte integrante das políticas de economia circular, de gestão da água e de adaptação às alterações climáticas como medida de proteção dos recursos naturais, alívio dos problemas de escassez de água e por motivos de benefícios económicos (European Commission, 2015).

Na UE são reutilizados anualmente cerca de 1 km³ de AR, cerca de 2,4% do total tratado, Figura 1, no entanto, o potencial de reutilização na UE é muito mais elevado, estando calculado em cerca de 6 km³ (EU, 2018; Lazarova, 2017). Segundo a Figura 1, a reutilização global de AR está também muito aquém do seu potencial, sendo anualmente reutilizados apenas 5% do total tratado (7,1 Km³)(Lazarova, 2017). Atualmente um dos países do mundo onde a reutilização de águas se encontra mais avançada é Israel. Espera-se que em 2040 a

reutilização de AR tratada seja a maior fonte de água para rega de culturas (Oyama, 2008).

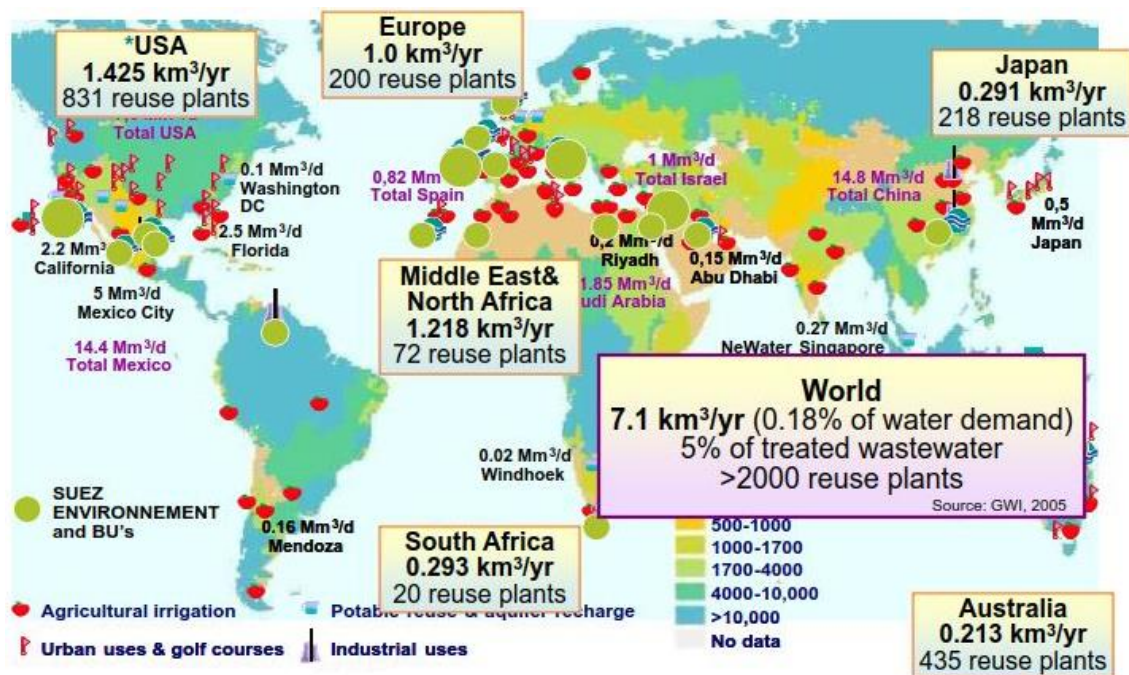


Figura 1 -Volume de reutilização no mundo de AR brutas/tratadas (Lazarova, 2017).

1.2.2 Reutilização de águas residuais em rega agrícola

Estima-se que 52% população mundial viva sob stress hídrico em 2050 (maioritariamente em países subdesenvolvidos, onde os recursos tecnológicos, energéticos e alimentares são também escassos) (Roberts, 2014).

A agricultura é o setor que mais consome do total da água utilizada anualmente: 70% mundialmente (OECD, 2017), 40 % na Europa (EEA, 2018) e 74,7% em Portugal (APA, 2015). Apesar dos ganhos de eficiência no setor desde a década de 1990 a agricultura continuará a ser o maior consumidor de água no mundo, estimando-se um aumento no consumo mundial de água pelo setor agrícola de 19% até 2050 (OECD, 2017). Tal deve-se ao facto de cada vez mais terras agrícolas terem de ser irrigadas, especialmente em países de clima árido e semiárido, como os países do sul da Europa (EEA, 2018). Os países do sul da

Europa (Portugal, Espanha, Itália, Grécia) são também os países onde os problemas de escassez de água mais se fazem sentir no continente Europeu: 20% da população desses países encontra-se sob stress hídrico todo o ano e no Verão a proporção aumenta para mais de 50% (EU, 2018).

Existe, portanto, uma necessidade cada vez maior de desenvolver métodos de tratamento e reutilização de águas para zonas de clima árido ou semiárido, zonas rurais e zonas desfavorecidas (Haddad et al., 2011; Vaillant et al., 2003). Estas medidas irão permitir a preservação da água fresca potável pois água de melhor qualidade deve ser geralmente preservada para consumo humano e uso industrial sendo a reutilização de AR especialmente recomendada para rega agrícola (Jaramillo, 2017; Pilatakis et al., 2013). A Figura 2 mostra as principais aplicações em reutilização de AR tratadas na EU, a utilização mais comum é a rega em agricultura (32%) (Lazarova, 2017).

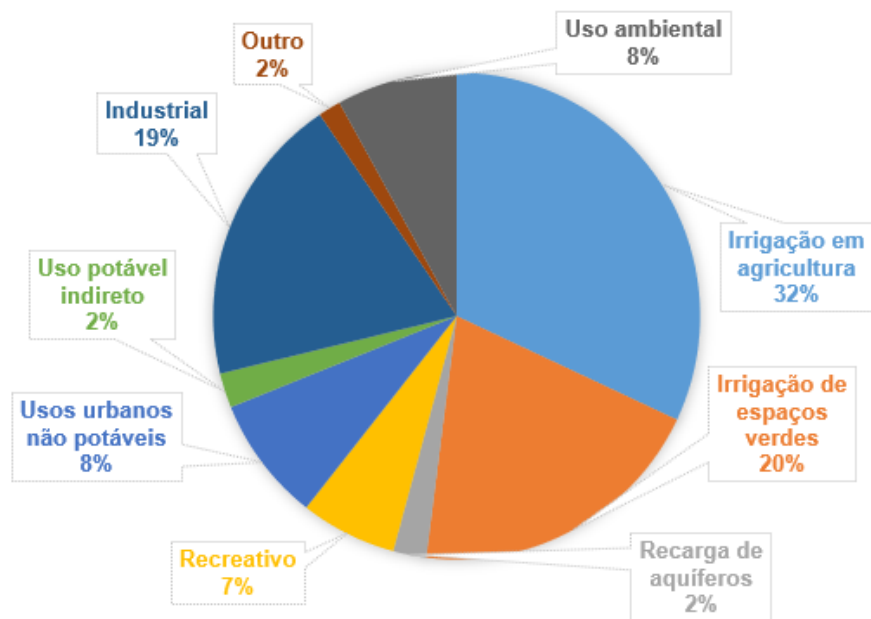


Figura 2 – Principais aplicações em reutilização de AR tratadas na EU (Lazarova, 2017).

1.2.3 Vantagens da reutilização agrícola da águas residuais urbanas

A reutilização de ARU em rega agrícola permite a preservação da água fresca potável e a reciclagem de nutrientes (principalmente N e P) que noutro caso seriam agentes poluidores, como foi referido no ponto 1.1, e torna-os num possível benefício económico.

O uso de fertilizantes sintéticos à base de N e P na agricultura continua também a crescer, o que leva a um influxo elevado de azoto reativo no ambiente e, por outro lado, o fósforo, um recurso não renovável, enfrenta um sério risco de esgotamento (tendo sido assinalado como uma matéria prima crítica pela Comissão Europeia em 2014)(Neczaj et al., 2018; Sengupta et al., 2015). A recuperação e reutilização de N e P das ARU é, portanto, altamente desejável (Sengupta et al., 2015). Além disso, existem melhorias na produção e qualidade dos produtos irrigados com ARU tratadas reportadas na literatura (Prazeres et al., 2017).

1.2.4 Limitações à reutilização agrícola de águas residuais urbanas

A reutilização de ARU pode ser também responsável por problemas ambientais severos, se não for gerida do modo mais correto e sustentável (Prazeres et al., 2017). Alguns dos problemas relacionados com a reutilização de ARU tratadas em rega são: poluição da água subterrânea, redução de oxigénio, salinização e alteração da estrutura do solo, contaminação do solo com metais pesados, efeitos negativos sobre a atividade e diversidade da comunidade microbiana, libertação de odores, etc. (Jaramillo, 2017; Prazeres et al., 2017).

1.2.5 Requisitos legais para reutilização em rega agrícola ou descarga de águas residuais urbanas

Os métodos seleccionados para tratar as ARU são regidos principalmente por parâmetros da qualidade do efluente, que variam de acordo com a finalidade a

que este se destina (descarga, reutilização agrícola, recarga de aquíferos, rega de espaços verdes, etc.).

Rega agrícola

Atualmente não existe nenhuma legislação a nível comunitário ou nacional que defina os requisitos legais específicos para reutilização de AR em rega agrícola. Encontra-se, no entanto, uma proposta de legislação em votação no Parlamento Europeu que visa estabelecer os requisitos mínimos para a reutilização das AR tratadas em irrigação.

Em Portugal a reutilização de AR em agricultura, apesar de não ter legislação dedicada, rege-se pelos parâmetros de qualidade definidos para águas de rega no Decreto-lei n.º 236/98 e por normas nacionais não regulamentares, nomeadamente a NP 4434:2005, Tabela 2. A nível internacional existem as recomendações da FAO, Tabela 2, que também não possuem poder legal, mas servem como valores guia. Os critérios de qualidade para águas de rega contemplam normalmente critérios microbiológicos (com vista à proteção da saúde pública) e parâmetros físico-químicos (com vista à proteção de riscos ambientais e agronómicos). Na Tabela 2 é possível observar que os parâmetros microbiológicos (Coliformes fecais e ovos de helmintas) são mais restritivos para os produtos de consumo em cru. O pH das AR afeta a solubilidade dos metais, dos nutrientes e a alcalinidade do solo. Nos efluentes tratados a matéria orgânica (CQO e CBO₅) não é um problema, podendo apenas levar ao aparecimento de cheiros desagradáveis. Os parâmetros como os SST servem como indicadores de possíveis entupimentos nos equipamentos de rega e os SDT, ou a CE, indicam o nível de salinidade da água, que caso seja elevada prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas. Os metais (como o Fe e outros) podem acumular-se no solo ou nas plantas (Monte et al., 2010).

Tabela 2 - Critérios de qualidade para a reutilização de AR tratadas em rega.

Parâmetros	Unidades	Produtos hortícolas de consumo em cru		Espaços verdes de contato direto com o público	Produtos hortícolas de consumo após processamento, pastagens, vinha, pomares		Searas, culturas industriais, floresta e espaços verdes de acesso controlado	Culturas não alimentares		Águas destinadas à rega (DL 236/98)	
		NP 4434:2005	FAO		NP 4434:2005	FAO		NP 4434:2005	FAO	VMR	VMA
pH		-	6,5-8,4	-	-	6,5-8,4	-	6,5-8,4	6,5-8,4	6,5-8,4	4,5-9,0
CE	mS cm ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
CQO	mg L ⁻¹ O ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CBO₅	mg L ⁻¹ O ₂	-	10	-	-	<30	-	<30	-	-	-
SST	mg L ⁻¹	20 - 60	-	21 - 60	22 - 60	<30	23 - 60	<30	60	-	-
SDT	mg L ⁻¹	640	-	640	640	-	640	-	640	-	-
N_{total}	mg L ⁻¹ N	50	-	50	50	-	50	-	-	-	-
NO₃⁻	mg L ⁻¹ NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-
P_{total}	mg L ⁻¹ P	2,0 - 3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turvação	NTU	-	< 2	10	-	-	-	-	-	-	-
Fe	mg L ⁻¹ Fe	5	-	5	5	-	5	-	-	-	-
Coliformes fecais	UFC/100m L	100	-	200	1000	-	10000	-	100	-	-
E. coli	UFC/100ml	-	<14	-	-	<200	-	<200	-	-	-
Ovos de helmintas	nº/ L	1	< 1	1	1	-	1	-	-	-	-

Adaptado de: Jaramillo, 2017; DL nº236/98; Monte et al., 2010.

Descarga em meio recetor aquático

Os requisitos de descarga de ARU tratadas em Portugal encontram-se bem definidos pela Diretiva 91/271/CEE, de 21 de maio de 1991, referente ao tratamento de ARU, transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei nº 152/97 e pelo Decreto-lei n.º 236/98, de 1 de agosto, que define as normas de qualidade para proteger o meio aquático e melhorar a qualidade da água e é neste que se encontram os VLE (Valores Limite de Emissão) para descarga de ARU tratadas. Em termos gerais, a legislação acima referida determina que todos os aglomerados com mais de 2 000 e.p.¹ devem ser equipados com uma ETAR com tratamento secundário, excetuando-se os casos em que o efluente é lançado num meio recetor sensível – situação em que o tratamento terá de ser terciário (Decreto-Lei nº 152/97, Anexo II).

A Tabela 3 sintetiza os requisitos de qualidade que as ARU tratadas devem satisfazer para poderem ser descarregadas, consoante o local de descarga (segundo o Decreto-Lei nº 152/97 e o Decreto-lei n.º 236/98).

¹ Umequivalente de população (1 e.p.): a carga orgânica biodegradável com uma carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias (CBO₅) de 60 g de oxigénio por dia.

Tabela 3 - Parâmetros de descarga para ARU tratadas consoante o local de descarga (nível de tratamento) para os parâmetros analisados no presente estudo.

Parâmetro	Unidades	Descarga (DL 236/98)	Tratamento secundário e zonas sensíveis (DL 152/97)	
			VLE	Concentração % mínima de redução
pH	Sorensen	6,0 - 9,0	-	-
CE	mS cm ⁻¹	-	-	-
SDT	mg L ⁻¹	-	-	-
Turvação	NTU	-	-	-
SST	mg L ⁻¹	60	35 ^c 60 ^d	90 ^c 70 ^d
CQO	mg L ⁻¹ O ₂	150	125	75
CBO ₅	mg L ⁻¹ O ₂	40	25	70-90
P _{total}	mg L ⁻¹ P	10		80
		3 ^a	1	
		0,5 ^b	2	
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹ NO ₃ ⁻	50	-	-
N-NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹ NH ₄ ⁺	10	-	-
N _{total}	mg L ⁻¹ N	15	10 ^e 15 ^f	70-80
Coliformes Fecais	UFC/100 ml	-	-	-

Adaptado de: DL nº 152/97 e DL nº 236/98

a Em águas que alimentem lagoas ou albufeira

b Em lagoas ou albufeira

c e. p. > 10 000

d e. p. de 2000 a 10 000

e e. p. > 100 000

f e. p. 10 000 – 100 000

1.3 Tratamentos de águas residuais urbanas para reutilização em rega agrícola

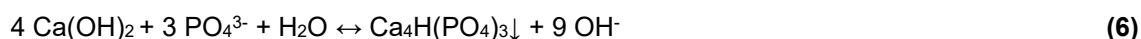
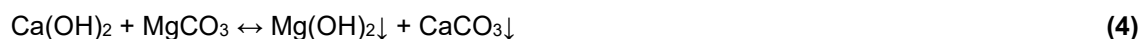
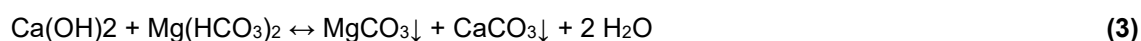
Na Europa a maioria das ETAR que tratam ARU com a finalidade de reutilização agrícola foram concebidas a partir de estações de tratamento convencionais, normalmente com nível de tratamento secundário (tratamento biológico). Para atender aos padrões de qualidade para reutilização agrícola (principalmente os microbiológicos), é apenas acrescentado tratamento suplementar (filtração e / ou desinfecção). O tratamento suplementar aplicado é normalmente a desinfecção por cloração, a tendência é, no entanto, de mudar para a desinfecção UV. Técnicas de desinfecção que não sejam cloração e UV

raramente são aplicadas (p.ex. microfiltração ou ultrafiltração) (Bixio et al., 2006). A reutilização de AR brutas em agricultura também é realizada, mas não recomendada, por razões óbvias de contaminação ambiental e saúde pública (Jaramillo, 2017). Apesar disto a FAO reporta que aproximadamente 10% da área total irrigada no mundo recebe AR brutas, o que abrange 2×10^7 ha em 50 países (Jaramillo, 2017).

1.3.1 Tratamento das águas residuais por precipitação química básica e neutralização natural

Precipitação química básica

A adição de agentes alcalinizantes às AR, como a cal viva (CaO) e a cal hidratada (Ca(OH)_2), atua através da elevação do pH da AR de modo a obter a sua clarificação, este tratamento de águas origina a formação de espécies insolúveis que podem ser removidas por sedimentação ou filtração. A cal é eficaz na precipitação de fosfatos, metais, microrganismos (60-100%), CBO5 (64-75%), CQO (57-72%), SST (75-91%), P_{total} (71-93%), dureza temporária e compostos orgânicos de elevado peso molecular (ácidos húmicos e fúlvicos) (Semerjian et al., 2003). Os mecanismos de clarificação podem ser explicados pelas reações que ocorrem quando a cal é adicionada à água (Prazeres et al., 2016):



Como se pode verificar através das reações 1 a 6 quando o Ca(OH)_2 reage com a água verifica-se a formação de espécies insolúveis como o carbonato de cálcio

(reações 1-4), carbonato e hidróxido de magnésio (reações 3 e 4) e fosfatos (reações 5-7), os quais aprisionam e arrastam as partículas em suspensão e coloidais (coagulação por varrimento), aumentando as eficácias de eliminação de matéria orgânica e turvação. A cal atua também como agente de ponderação aumentando a densidade das partículas e, conseqüentemente, a sua fixação e a clarificação da água. A quantidade de reagente (cal) a adicionar varia consoante as características da água a tratar e, principalmente, devido a características como a dureza total e a alcalinidade (bicarbonatos).

A importância da aplicação do tratamento químico às AR por precipitação química básica (PQB) resulta, não só do facto de constituir uma alternativa ao clássico tratamento biológico, mas também porque é um tratamento:

- Rápido, previsível e mais facilmente automatizável;
- Tolerante a compostos de alguma toxicidade e a variações de temperatura;
- Suporta variações de carga e caudal mais facilmente;
- Utilizado como pré-tratamento melhora a eficiência dos tratamentos biológicos subsequentes (Semerjian et al., 2003).

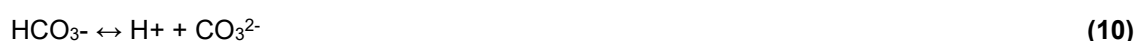
As principais desvantagens deste processo de tratamento são a obtenção de sobrenadantes com elevado pH, a dificuldade de manuseamento dos reagentes utilizados e a elevada produção de lamas (Semerjian et al., 2003).

Neutralização natural

Após PQB a água tratada apresenta um pH demasiado elevado ($\text{pH} > 9,5$) para poder ser reutilizada. Para se reutilizar é necessário um abaixamento de pH, no mínimo, até $\text{pH} \approx 8$. É possível, no entanto alcançar esse abaixamento de pH sem recurso a reagentes, utilizando o CO_2 atmosférico em reações de carbonatação.

No entanto as reações de carbonatação da água a partir do CO₂ atmosférico são lentas, em virtude da baixa concentração de CO₂ no ar, se comparadas com a injeção industrial de CO₂ cuja reação pode ser alcançada com um período de retenção de cerca de 15 min (Wang et al., 2005).

A equação que traduz a dissolução do CO₂ na água é a 7. Após a dissolução o CO₂ é submetido a uma reação de hidratação por reação com água para formar o ácido carbónico (H₂CO₃), equação 8. O H₂CO₃ é um ácido fraco que se dissocia em duas etapas (equações 9 e 10). Estas duas reações produzem iões hidrogénio (H⁺) e que influenciam o pH da solução (Mihelcic & Zimmerman, 2014). Os iões H⁺ são atraídos por iões de hidróxido (OH⁻) formando moléculas de água. Os iões CO₃²⁻ são atraídos pelas cargas positivas de ião cálcio ou ião magnésio, para formar precipitado de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio. Assim, o CO₂ pode ser adicionado para neutralizar o excesso de Ca(OH)₂ da água tratada e baixar o pH para o valor desejado tal como é mostrado pelas equações (11 e 12) (Droste, 2005).



1.3.2 Utilização de sistemas hidropónicos no tratamento e reutilização de águas residuais

Os sistemas de cultivo hidropónicos (cultivo sem solo e com recurso a SN em solução aquosa) são uma biotecnologia agrícola e ambiental promissora para produção controlada de alimentos e tratamento e reutilização de AR, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo os riscos associados à

reutilização de águas residuais no solo e para a água subterrânea (Haddad et al., 2011; Prazeres et al., 2017). Esta biotecnologia é um processo baseado no uso de água, matéria orgânica e nutrientes (que podem ser provenientes de AR brutas ou tratadas) para o crescimento e desenvolvimento de um sistema biológico complexo constituído por plantas e microrganismos benéficos. Assim são cultivadas plantas com valor comercial que capturam, absorvem e acumulam vários nutrientes das AR, permitindo o tratamento destas (Prazeres et al., 2017). Por outro lado, os efluentes provenientes de sistemas hidropónicos podem ainda ser reutilizados na indústria e na agricultura.

Tipos de sistemas de cultivo hidropónico

Os sistemas hidropónicos podem ser divididos em dois grupos básicos, que são os sistemas passivos e os sistemas ativos. Nos sistemas passivos, a SN permanece estática e é conduzida às raízes das plantas, geralmente por capilaridade. Por sua vez todos os sistemas ativos, de uma forma ou de outra, necessitam da circulação da SN através de uma bomba e grande parte deles de algum sistema paralelo para fazer oxigenação da solução (Asao, 2012). Os sistemas podem ser também abertos (a SN tem uma passagem única pelas plantas, sendo renovada constantemente) ou fechados (a SN é recirculada pelo sistema sendo apenas repostos os consumos de água e nutrientes)(Asao, 2012). Os diversos sistemas podem ainda recorrer à utilização de substratos de crescimento, que providenciam a planta com um suporte físico e inerte de crescimento, com a exceção do sistema aeropónico que normalmente não recorre à utilização de substratos (Asaduzzaman et al., 2015). O substrato mais utilizado comercialmente é a lã de rocha (Asaduzzaman et al., 2015). Na Tabela 4 encontra-se a denominação e descrição dos principais tipos de sistemas de cultivo hidropónico.

Tabela 4 – Tipos de sistemas de cultivo hidropônico.

Designação	Descrição	Tipo de sistema		Substratos utilizados
Pavio	A SN é conduzida para o meio de cultura e para as raízes das plantas, por capilaridade, através de um ou mais pavios.	Sistema fechado	Sistema passivo	
NFT	Existe um fluxo constante de SN junto das raízes das plantas.	Sistema fechado	Sistema ativo	Turfa, terra vulcânica, areia e gravilha, perlite, vermiculite, fibra de côco, espumas sintéticas (plastoponia) e lã de rocha.
Sistema de Sub-Irrigação	Enche-se uma bandeja ou bancada de cultura intermitentemente com SN.	Sistema fechado	Sistema ativo	
Sistema de Leito Flutuante	As plantas são ancoradas numa plataforma flutuante e colocada diretamente na superfície da SN, contida num depósito onde as raízes ficam total ou parcialmente imersas.	Sistema fechado	Sistema ativo	
Gota-a-gota	A SN é descarregada na forma de gotas junto ao colo de cada planta.	Sistema aberto	Sistema ativo	
Aeroponia	As raízes das plantas ficam suspensas numa câmara de cultura onde são aspergidas com SN, a intervalos de tempo regulares.	Sistema fechado	Sistema ativo	-

Adaptado de: Asaduzzaman et al., 2015; Asao, 2012.

Reutilização de águas residuais em sistemas hidropónicos

A reutilização da AR tratadas como SN em cultivo hidropónico, para além de ser uma medida que permite a recuperação de recursos fundamentais para as plantas, como é o caso da água, dos nutrientes (principalmente azoto e fósforo) e da matéria orgânica evita ainda a poluição dos meios recetores (Eregno et al., 2017; Prazeres et al., 2017). Esta técnica de cultivo apresenta ainda como benefícios:

- Minimização das perdas de água por evaporação em zonas de clima árido e semiárido, (com técnicas de irrigação tradicionais existem perdas de água de $\approx 45\%$) (Oyama et al., 2005) e
- Consequentemente ter um consumo de água ($L\ kg^{-1}.ano$) 13 vezes menor que o da agricultura convencional, no cultivo da alface, permitindo a conservação da água (Barbosa et al., 2015).

Vários estudos demonstram que as plantas cultivadas em sistema hidropônico podem remover grande parte da contaminação das AR. A Tabela 5 resume alguns estudos encontrados na literatura para o tratamento de águas residuais urbanas e domésticas (ARD) em sistemas de cultivo hidropônicos. Pode observar-se que não existe nenhum tipo de sistema de tratamento em cultivo hidropônico predominante. Os sistemas de cultivo variam de sistemas NFT (Vaillant et al., 2003), sistemas de sub-irrigação ou gota-a-gota (Haddad et al., 2011), aquaponia (Graber et al., 2009; Rana et al., 2011), sistemas comerciais (em circuito fechado) (Boyden et al., 1996) e sistemas experimentais (Graber et al., 2009; Lihua et al., 2002), com utilização de substrato ou não (sendo o substrato mais utilizado a argila expandida). As culturas produzidas são predominantemente culturas hortícolas consumíveis em cru (Boyden et al., 1996; Graber et al., 2009; Haddad et al., 2011; Lihua et al., 2002; Rana et al., 2011) e flores (Haddad et al., 2011; Vaillant et al., 2003). Apesar do nível de pré-tratamento das AR, antes de tratamento em cultivo hidropônico não ser homogêneo, este varia apenas entre a utilização direta de águas brutas e o tratamento primário (remoção de sólidos suspensos normalmente através de processos coagulação/floculação e sedimentação gravítica). São também realizados estudos da remoção de nutrientes através de soluções nutritivas artificiais (Graber et al., 2009). Boyden et al., (1996) obtivera remoções elevadas de matéria orgânica através do cultivo de alface em sistema hidropônico com recurso a ARU (após tratamento primário) (CQO \approx 86% e CBO5 \approx 87%), SST (99%) e nutrientes: P_{total} (77%) e N_{total} (80%). No entanto o rendimento da cultura foi afetado negativamente pelo uso de ARU, devido à baixa concentração de potássio e à presença de oligoelementos em comparação com o controlo (redução de cerca de 50% no rendimento da cultura de alface). Resultados semelhantes em termos de eficiência de remoção foram obtidos por Vaillant et al. (2003), utilizando ARU brutas em sistema hidropônico NFT: CQO, CBO5, SST e NH₄⁺ foram efetivamente removidos pelas plantas de *D. innoxia* com

reduções de 82%, 91%, 98% e 93%, respectivamente. Apenas o P_{total} apresentou uma percentagem de remoção menor, 38%. Vaillant et al. (2003) não detetou diferenças significativas no comportamento da planta resultantes da reutilização ARU. Lihua et al., (2002) estudou o desenvolvimento da alface e do espinafre em cultivo hidropónico com recurso a ARD (após filtração em solo artificial). As eficiências de remoção mais elevadas foram obtidas no cultivo de alface (82% de CBO_5 e 89% de SST) em comparação com o cultivo de espinafre (43% de CBO_5 e 69% de SST). Lihua et al., (2002) comparou ainda o efeito da utilização de ARD e SN comercial no cultivo hidropónico com cultivo em solo na qualidade da alface produzida. O sistema hidropónico com SN comercial apresentou maior produção vegetal em termos de peso fresco das plantas, no entanto, os teores de vitamina C, proteína (reportada à matéria seca) e açúcar solúvel na alface cultivada em sistema hidropónico com ARD não apresentaram diferenças significativas em relação aos outros sistemas de cultivo. Além disso a concentração de nitrato foi menor na alface cultivada em sistema hidropónico com ARD (237,6 g kg⁻¹ de nitrato) em comparação ao sistema hidropónico com SN comercial (378,6 g kg⁻¹) e cultivo de solo (301,0 g kg⁻¹). Haddad et al., (2011) observou, no entanto, a acumulação de metais pesados nas folhas de alface cultivadas em sistema hidropónico de sub-irrigação com recurso a ARU (após tratamento primário): As=6,5; Cd=3,8; Pb=20,0 mg kg⁻¹, referindo que estes valores eram dependentes da qualidade da água fornecida às plantas.

Quanto às variáveis microbiológicas, Oyama (2008), observou a remoção de coliformes fecais (69-99%) em 7 dias de tratamento até à eliminação total em 14 dias, em ARU proveniente de tratamento secundário. Eregno et al. (2017) recomenda ainda cuidados no manuseamento do sistema de modo a evitar a contaminação das folhas de alface com *Escherichia coli* (*E. coli*) e outros elementos patogénicos como *Cryptosporidium*, *Campylobacter* e Norovirus presentes nas ARD durante o processo de cultivo.

Tabela 5 – Sistemas hidropônicos para tratamento de ARU e ARD.

		Boyden & Rababah (1996)	Vaillant et al. (2003)	Lihua et al., (2002)	Lihua et al., (2002)	Graber & Junge (2009)	Graber & Junge (2009)	Graber & Junge (2009)
Remoção (%)	Tipo de sistema	Sistema comercial (circuito fechado)	Sistema NFT	Sistema hidropônico	Sistema hidropônico	Sistema hidropônico	Sistema hidropônico	Sistema hidropônico
	Substrato de crescimento	Perlite:vermiculite (2:1)	-	-	-	Argila expandida	Argila expandida	Argila expandida
	Tipo de água residual	Tratamento Primário (ARU)	Tratamento Primário (ARU)	ARD (após filtração com solo artificial)	ARD (após filtração com solo artificial)	Solução nutritiva + Água de consumo	Solução nutritiva + Água de consumo	Solução nutritiva + Água de consumo
	Planta	Alface	<i>D. innoxia</i>	Alface	Espinafre	Tomate	Beringela	Pepino
	COD	86	82	37,36	25,28	-	-	-
	BOD	87	91	82,31	42,77	-	-	-
	TSS	99	98	89,42	68,96	-	-	-
	P _{total}	77	38	47,62	23,81	37	9	48
	N _{total}	80	93	66,76	57,91	34	25	36

Adaptado de: Prazeres et al., 2017.

Tabela 5– Sistemas hidropônicos para tratamento de ARU e ARD (continuação).

Remoção (%)	Parâmetros	Graber & Junge (2009)	Graber & Junge (2009)	Graber & Junge (2009)	Rana et al. (2011)	Haddad et al. (2011)	Haddad et al. (2011)
	Tipo de sistema	Aquaponia	Aquaponia	Aquaponia	Aquaponia	Sub-Irrigação	Gota-a-gota
	Substrato de crescimento	Argila expandida	Argila expandida	Argila expandida	Cama flutuante	(2:1:1) gravilha (20 mm), serradura, areia (0,4 mm) e sem substrato	(2:1:1) gravilha (20 mm), serradura, areia (0,4 mm) e sem substrato
	Tipo de água residual	AR de aquicultura	AR de aquicultura	AR de aquicultura	AR urbana bruta	Tratamento Primário (ARU)	Tratamento Primário (ARU)
	Planta	Tomate	Beringela	Pepino	Tomate	Abóbora, feijão verde, milho doce, beringela, tomate cereja, flores de corte, citrinos e azeitonas, alecrim.	Abóbora, feijão verde, milho doce, beringela, tomate cereja, flores de corte, citrinos e azeitonas, alecrim.
	COD	-	-	-	20–61,38	66.5	55.1
	BOD	-	-	-	61,61–72,03	-	-
	TSS	-	-	-	-	82.3	82.3
	P _{total}	-	5	27	62,76	37	37
	N _{total}	69	9	17	74,7–78,03	34	21

Adaptado de: Prazeres et al., 2017.

1.4 Objetivos da dissertação

Os objetivos deste trabalho de dissertação são os seguintes:

1. Desenvolver um processo de tratamento químico para ARU/ARD que possa ser realizado manualmente, com recurso a reagentes de fácil acesso/baixo custo e sem recurso a equipamentos especializados e/ou fontes de energia (apto a ser utilizado em ambiente inóspito ou logisticamente difícil), utilizando processos de precipitação química básica (PQB) e carbonatação natural (NN) com o CO₂ atmosférico.
2. Desenvolver um sistema hidropónico (NFT/LED) para reutilização do efluente tratado obtido por PQBm+NN.
3. Avaliar os efeitos da utilização do efluente tratado obtido por PQBm+NN como solução nutritiva (SN), com recurso a dois substratos diferentes, no desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*) cultivada hidroponicamente.
4. Avaliar a aceitação do cliente relativamente à alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*) cultivada com recurso efluente tratado obtido por PQBm+NN como SN, com dois substratos diferentes.
5. Testar o tratamento desenvolvido PQBm e o sistema NFT/LED na base Antártica Búlgara, Ilha Livingston.

2. Materiais e Métodos

O trabalho experimental para elaboração desta dissertação teve a duração de 6 meses, com início em 1 de outubro de 2018 e término a 6 de março de 2019. Os trabalhos decorreram até final de janeiro nos Laboratórios de: Ensino e Investigação de Proteção do Ambiente, Análise Sensorial, Microbiologia e de Análise de Sementes e Matérias Primas Vegetais da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja (ESAB-IPBeja). A partir de 1 de fevereiro decorreram na Base Antártica Búlgara, São Clemente de Ohrid, Ilha de Livingston, Figura 3, .no âmbito do Projeto *Education of Science, Technology, Engineering, and Mathematics in Antarctica* (ESTEEM Antarctica), financiado pela FCT, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) e do Programa Polar Português (PROPOLAR).

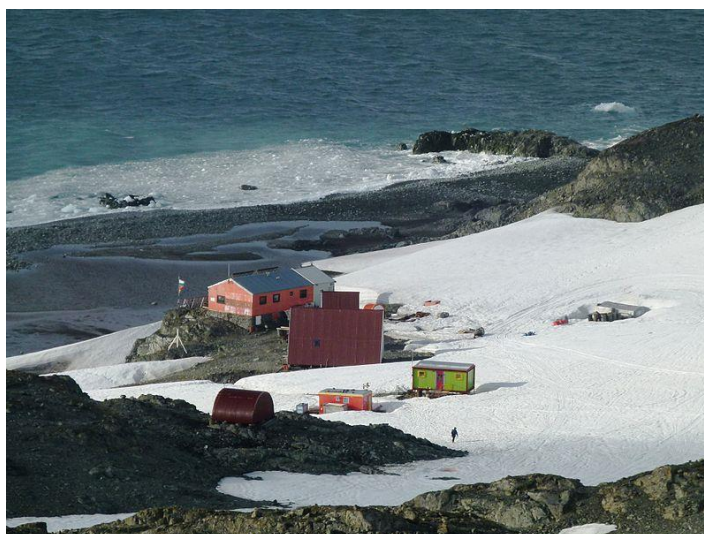


Figura 3 -Base Antártica Búlgara, Ilha Livingston, Antártica.

2.1 Recolha de água residual bruta

As águas residuais urbanas brutas utilizadas neste trabalho, foram disponibilizadas pelo Município da Vidigueira e correspondem ao efluente

gerado pelo aglomerado populacional da Vila da Vidigueira (ARUV), com cerca de 5932 habitantes.

As amostras de ARUV foram recolhidas a 8 de outubro na obra de entrada da ETAR do Parque Empresarial e Industrial da Vila da Vidigueira, Figura 4. A fim de se obter uma amostra composta a amostragem foi realizada ao longo do período de trabalho dos funcionários da ETAR (07:00 às 13:00h). As amostras foram acondicionadas em 25 garrações de plástico PET com 6 L de capacidade e transportadas de imediato para o laboratório 8 da ESAB-IPBeja. Estas amostras foram refrigeradas a - 4°C até análise e tratamento.



Figura 4- ETAR do Parque Empresarial e Industrial da Vidigueira.

2.2 Métodos analíticos

2.2.1 Caracterização físico-química e microbiológica das águas residuais

A descrição dos métodos analíticos utilizados para a caracterização físico-química e microbiológica encontram-se resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Métodos analíticos utilizados para a caracterização físico-química e microbiológica das AR.

Parâmetro	Método	Referência
Alcalinidade Total e Alcalinidade à Fenolftaleína	Titulometria de neutralização (2320 B)	APHA (2013)
CBO₅	Manométrico (5210 D)	APHA (2013)
CE	Potenciométrico (2510)	APHA (2013)
Coliformes totais	Filtração por membrana de 0,45 µm e meio de cultura de Gelose Lauril Sulfato de Sódio seguido de confirmação em meio de cultura “Caldo Verde Brilhante” OXOID CM31	Norma ISSO 9308-1 (2000)
CQO	Colorimétrico de refluxo fechado (5220 D)	APHA (2013)
Dureza Cálcica	Volumetria de complexação com EDTA (3500-Ca ²⁺ B)	APHA (2013)
Dureza Total	Volumetria de complexação com EDTA (2340 C)	APHA (2013)
N-Kjeldahl	Kjeldahl (4500-Norg B)	APHA (2013)
N-NH₄⁺	Destilação (4500-NH ₃ B e C)	APHA (2013)
NO₂⁻	Colorimétrico (4500-NO ₂ ⁻ B)	APHA (2013)
NO₃⁻	Salicilato de sódio	Rodier (1989)
P_{total}	Digestão + Vanadato-molibdato (4500-P B e C)	APHA (2013)
pH	Potenciométrico (4500 H+)	APHA (2013)
SST	Gravimétrico (2540 D)	APHA (2013)
Turvação	Método Nefelométrico 2130 B	APHA (2013)

2.2.2 Avaliação agronômica das alfaces produzidas no sistema hidropônico NFT/LED

O peso seco da parte aérea foi registrado após secagem em estufa durante 48h à temperatura de 65 a 70 °C.

Os pesos secos e frescos foram medidos em balança NewClassic MS (Mettler Toledo), com precisão à centésima.

A área foliar foi medida através de um medidor de área LI – 3100 C (em Portugal).

2.2.3 Análise sensorial das alfaces produzidas no sistema hidropônico NFT/LED

A avaliação das características sensoriais das alfaces cultivadas foi realizada através de uma prova de aceitação, com recurso a uma escala hedônica

efetuando-se a avaliação através de uma escala numérica estruturada (1=ausente; 2=pouco intenso, 3= intenso, 4=muito intenso), para os seguintes atributos: aparência visual (intensidade da cor, uniformidade da cor, folha murcha), cheiro (vegetal fresco, desagradável), sabor (doce, amargo, desagradável) e textura (crocante, tenra, succulenta) das folhas frescas. As alfaces foram colhidas no próprio dia, desinfetadas (com ácido acético, vulgo vinagre) por imersão em solução aquosa durante 20 minutos. A prova teve início 1 hora após colheita, na sala de Análise Sensorial da ESA, a qual está de acordo com o referencial normativo 17025:2005 para ensaios acreditados pelo IPAC. A seleção de provadores foi possível com um breve questionário de consumo de alface, o qual estava associado à ficha de prova. O painel de provadores foi composto por 30 provadores (não treinados). Foi também realizada uma prova de preferência. Cada provador efetuou a prova em cabine individual, equipada com iluminação individual (iluminância de 6500K), sendo que a temperatura média no interior da sala durante a prova foi de 21,1 °C e a humidade relativa de 52%. As amostras foram codificadas com números aleatórios de 3 dígitos. A folha de prova encontra-se no Anexo 2.

2.2.4 Análise estatística

A estatística descritiva (média, desvio padrão e moda) foi efetuada com recurso ao software Microsoft Excel (versão 1905).

Os resultados dos dados recolhidos durante a prova sensorial, para as alfaces cultivadas com soluções nutritivas e substratos distintos, foram submetidos a análise de variância com um fator (One-Way ANOVA), sendo as suas médias comparadas entre si pelo teste de Tukey HSD, com um nível de significância $p < 0,05$, empregando o programa Statistica 13 (TIBCO software Inc.).

2.2.5 Cálculos

O teor em SDT (mg L^{-1}) foi calculado a partir da medição da CE (dS m^{-1}). A CE pode ser considerada numericamente equivalente ao teor de SDT, com uma aproximação de $\pm 10\%$, de acordo com a expressão seguinte (Monte et al., 2010):

$$\text{CE (dS/m)} \times 640 = \text{SDT (mg/L)}$$

2.3 Instalações e procedimento experimental

2.3.1 Ensaio de precipitação química básica

Escolha de reagentes

De modo a escolher o reagente precipitante mais eficaz para remoção da matéria orgânica da AR e o pH de trabalho mais adequado foram, inicialmente, realizados ensaios de precipitação química básica com:

1. Hidróxido de cálcio (Ca (OH)_2), com elevado grau de pureza $\geq 95.0\%$;
2. Cal hidratada industrial (Ca (OH)_2), para uso em tratamento de água para consumo e
3. Cal Viva (CaO).

Para todos os reagentes foram testados os pH: 9,50 - 10,00 - 10,50 - 11,00 - 11,50 - 12,00 - 12,00. As condições experimentais utilizadas para a realização dos ensaios de precipitação química encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Métodos e valores das condições experimentais aplicados durante a seleção do melhor reagente e pH de trabalho.

Parâmetro experimental	Valores/Métodos	Unidades
Concentração da solução de reagente	200	g L^{-1}
Volume de amostra utilizado	200	ml
Velocidade de agitação	300	rpm
Aplicação do reagente	gota-a-gota	-

Os ensaios de precipitação química foram monitorizados através dos seguintes parâmetros pH, CE, turvação e CQO, para avaliar:

- a combinação regente/pH que alcançava a remoção de matéria orgânica mais elevada e
- a massa ideal de reagente a aplicar durante a fase de tratamento por mistura manual.

Ensaio de agitação manual

Os ensaios de tratamento por precipitação química básica com agitação manual (PQBm) foram realizados em reator fechado de plástico PET, com 6L de capacidade, onde se colocam 5L de ARUB e a quantidade de solução de cal necessária para a obtenção do pH pretendido. De seguida o reator foi agitado manualmente de forma vigorosa durante 1 minuto até se observar visualmente a distribuição uniforme do reagente na mistura. Os reatores foram agitados horizontalmente na seguinte ordem: movimento para a frente e para trás, movimentos laterais e viragem vertical (90°).

2.3.2 Ensaio de neutralização natural

Os ensaios de neutralização natural foram realizados através de reações espontâneas de carbonatação com CO₂ atmosférico, sem recurso a reagentes, até pH≈8 na presença do precipitado da PQB, tendo em conta os resultados obtidos por Madeira, (2016). As condições experimentais aplicadas durante o ensaio encontram-se descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros experimentais aplicados durante a o ensaio de neutralização natural

Parâmetro experimental	Exposição à atmosfera	Injeção de ar	Unidades	Observações
Altura de lâmina de água	0,2	0,2	m	
Área superficial	0,02	0,02	m ²	
Volume de amostra	4	4	L	
Caudal da bomba	-	85	L h ⁻¹	Marina Bomba de ar-100

Foram diariamente registados: pH e CE.

No final de cada ensaio a AR foi caracterizada através dos seguintes parâmetros: pH, CE, turvação, CQO, CBO₅, NH₄⁺, N-Kjeldahl, NO₂⁻, NO₃⁻, SST, P_{total}, alcalinidade total, alcalinidade à fenolftaleína, dureza total, cálcica e magnésiana e coliformes totais.

2.3.3 Ensaio de reutilização em cultivo hidropónico

Construção do sistema hidropónico

Para a realização do ensaio de reutilização em cultivo hidropónico foi construído um sistema *nutrient film technique* (NFT), composto por um tanque com solução nutritiva (SN), um sistema de bombagem, canais de cultivo e um sistema de retorno ao tanque, Figura 5. A solução nutritiva é bombeada até aos canais e escorre por gravidade formando uma fina lâmina de solução que rega as raízes. O sistema é ainda constituído por uma componente de iluminação LED (TOPLANET Reflector 450W) de forma a garantir as necessidades das plantas, visto o cultivo ser interior (de forma a replicar ao máximo os condicionalismos a encontrar no ensaio na Antártica). Os substratos utilizados no ensaio foram a perlite e a lã de rocha. Os parâmetros experimentais de dimensionamento e funcionamento do sistema encontram-se descritos na Tabela 9.



Legenda

- 1. Sistema luz LED
- 2. Canais de cultura
- 3. Tubagens de circulação de água entre reservatórios e canais de cultura
- 4. Reservatório com bombas de circulação

Figura 5 – Sistema de cultivo NFT/LED desenvolvido

Tabela 9 - Parâmetros experimentais de dimensionamento e funcionamento do sistema NFT/LED

Parâmetro	Valor	Unidade	Observações
Nº de plantas por canal	4	número	Um dos canais funciona como controle, SN otimizada para a cultura da alface, e os restantes 3 são réplicas, SN é a ARPEIV tratada por PQBm+NN
Nº de canais	4	número	
Comprimento do canal	600	mm	
Espaçamento entre plantas	8	cm	-
Inclinação do canal	3	%	-
Diâmetro do canal	90	mm	-
Nº de reservatórios	4	número	-
Capacidade do reservatório	5	L	-
Caudal de circulação	5	L min ⁻¹	-
Rega	Período diurno (08:00-20:00h): intermitente de 15 em 15 minutos (com circulação / sem circulação). Período noturno (20:00-08:00h): duas regas de 15 minutos, às 24:00h e outra às 04:00h.		-
Renovação da solução	14	dias	Total eliminação de coliformes fecais (Oyama, 2008)
Nº de elementos de iluminação	1	número	-
Ciclo de iluminação	12	h	-
DLI	15	mol m ⁻² d	PAR 342 µmol m ⁻² s, com o sistema colocado a uma distância de 60cm das plantas
Irradiância	33,8	W m ⁻²	-
Rácio do espectro de luminoso (V:A)	04:01	-	410-470nm (azul) e 610-740nm (vermelho)

Indica-se na Tabela 10 a quantidade de fertilizante necessária para fazer 1L de solução stock para a preparação da solução nutritiva da alface (Almeida, 2006).

Tabela 10 - Quantidade de nutrientes necessários para fazer 1L de solução “stock”.

Fertilizante	Massa	Unidade
Nitrato de potássio	0,48	g
Nitrato de cálcio	0,51	g
Quelato de ferro a 7 %	12	mg
Nitrato de amónio	20	mg
Fosfato monopotássico	300	mg
Sulfato de magnésio	0,08	mg
Sulfato de zinco	0,19	mg
Boro	0,2	mg
Quelato de cobre	0,08	mg
Molibdato de sódio	0,19	mg

Adaptado de: Almeida, 2006.

A alface utilizada no ensaio foi alface frisada (*Lactuca sativa var. crispa*). É uma hortícola do tipo batávia. Possui coloração verde. Está apta para produção em estufa, com colheitas de inverno e primavera.

A transplantação das plântulas de alface foi efetuada no dia 21 de dezembro de 2018 para pequenos vasos de polietileno com a raiz envolvida no substrato de cultivo. O ensaio terminou a 18 de janeiro de 2019 com a colheita das alfaces (este período foi selecionado por se pensar semelhante ao tempo disponível para o ensaio na Antártica).

Controlo do sistema hidropónico

Semanalmente foi efetuada a medição do pH e CE e quinzenalmente recolhidas amostras de água para análise, sendo analisado os seguintes parâmetros: pH, CE, CQO, CBO₅, NH₄⁺, N_{Kjeldahl}, NO₂⁻, NO₃⁻, SDT, P_{total}, alcalinidade total, alcalinidade à fenolftaleína, dureza total, cálcica e magnésiana e coliformes totais.

Avaliação agronómica das alfaces

Semanalmente foi realizada a contagem do número de folhas, medido o diâmetro do repolho e o comprimento das plantas. No final do ensaio foram registadas as seguintes variáveis: diâmetro do repolho, peso fresco total, peso fresco da parte aérea, peso fresco da raiz, peso seco da parte aérea, número de folhas, comprimento das plantas e área foliar.

2.4 Ensaio na Antártica

Tal como referido no ponto 2.1., o trabalho experimental na Antártica foi realizado no interior da Base Antártica Búlgara (BAB), São Clemente de Ohrid, Ilha de Livingston, tendo sido utilizadas as águas residuais domésticas brutas (ARDA) produzidas na base. Estas foram tratadas por PQBm+NN, utilizando os parâmetros otimizados obtidos para as ARUV.

O sistema NFT/LED transportado para o ensaio na Antártica é em tudo semelhante ao construído para o ensaio realizado em Portugal, exceto o número de canais (=1), sendo que neste ensaio foi apenas utilizada a ARDA tratada por PQBm+NN como SN, com substrato de lã de rocha.

A recolha das ARDA realizou-se para 2 recipientes de plástico PET de 6L, com um volume de 5L de água. As águas recolhidas foram imediatamente tratadas por PQB_m, NN e utilizadas como SN no sistema NFT/LED (instalado no laboratório da base). O ensaio de cultivo em sistema NFT/LED teve a duração de 14 dias.

Foram também recolhidas as seguintes amostras para análise em Portugal:

- 3 garrafas de 0,5L com ARD bruta;
- 3 garrafas de 0,5L com água tratada por PQBm e NN;
- 3 garrafas de 0,5L com água após o tratamento no sistema NFT/LED.

As amostras foram imediatamente congeladas (-20°C) e a sua identificação feita de modo idêntico à realizada em Portugal.

Devido às limitações em termos de equipamento laboratorial da BAB, as variáveis obtidas durante o ensaio foram apenas o pH, a CE e parâmetros agronômicos. O pH e a CE foram anotados diariamente; o comprimento da parte aérea, diâmetro do repolho e número de folhas foram anotados semanalmente; o comprimento total e da raiz, o peso total, da parte aérea e da raiz foram anotados apenas no início do ensaio e/ou no fim do mesmo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Características das águas residuais brutas

Na Tabela 11 apresentam-se as características físico-químicas e microbiológicas do afluente bruto das águas residuais urbanas da Vidigueira (ARUV) e das águas residuais domésticas da Antártica (ARDA).

3.1.1 Características das ARUV

Se compararmos as características físico-químicas das ARUV, Tabela 11, com os valores típicos para a realidade portuguesa e norte-americana, ponto 1.1 (Tabela 1) podemos constatar que os parâmetros SST, CQO, CBO₅, N_{total} e P_{total} se encontram acima dos valores típicos, quer para a realidade portuguesa, quer para a realidade norte-americana. A Alcalinidade total encontra-se também acima dos valores típicos da literatura (entre 62,1 e 367,0 mg L⁻¹ segundo Prazeres et al., 2017). As ARUV podem, então, considerar-se águas com elevada carga orgânica e nutritiva (Monte et al., 2010, 2016). No entanto a relação CBO₅/CQO (0,36) é baixa (<0,4, segundo Nagwekar, 2014), portanto as ARUV são teoricamente pouco biodegradáveis.

3.1.2 Características das ARDA

Se compararmos as características físico-químicas das ARDA, Tabela 11, com os valores típicos para a realidade portuguesa e norte-americana, ponto 1.1 (Tabela 1) podemos constatar que os parâmetros SST, CQO, CBO₅, N_{total} e P_{total} se encontram acima dos valores típicos, quer para a realidade portuguesa, quer para a realidade norte-americana, apesar de se tratar exclusivamente de uma água residual doméstica. Tal como as ARUV, as ARDA podem também considerar-se como uma água com elevada carga orgânica e nutritiva (Monte et al., 2010, 2016). No entanto esta água distingue-se da ARUV pela Alcalinidade total (185,0 mg CaCO₃ L⁻¹) que se encontra dentro dos valores típicos da

literatura (entre 62,1 e 367,0 mg L⁻¹ segundo Prazeres et al., 2017). Outra característica que distingue a ARUV da ARDA é a baixa dureza desta.

Tabela 11 - Caracterização físico-química das AR analisadas.

Parâmetros	Unidades	ARUV	ARDA
		n=9	n=3
Média ± DP			
pH	Sorensen	7,03 ± 0,29	7,7 ± 0,1
CE	mS cm ⁻¹	1,358 ± 0,105	0,911 ± 00,018
SDT (calculada)	mg L ⁻¹	869 ± 67	583 ± 011
Turvação	NTU	196 ± 30	-
SST	mg L ⁻¹	295 ± 49	-
CQO	mg O ₂ L ⁻¹	1344 ± 23	850 ± 17
CBO ₅	mg O ₂ L ⁻¹	483 ± 75	-
CBO ₅ /CQO	-	0,36	-
P _{total}	mg P L ⁻¹	13,5 ± 1,9	13,4 ± 3,2
NO ₃	mg N- NO ₃ L ⁻¹	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0
NO ₂ ⁽¹⁾	mg N- NO ₂ L ⁻¹	-	-
NH ₄ ⁺	mg N- NH ₄ ⁺ L ⁻¹	70,5 ± 6,5	45,4 ± 2,1
N-Kjeldahl	mg N L ⁻¹	148,1 ± 10,2	79,6 ± 3,7
N-Orgânico	mg N L ⁻¹	77,5 ± 13,9	34,2 ± 1,6
N _{total}	mg N L ⁻¹	150,8 ± 10,5	79,7 ± 3,7
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	300,8 ± 8,6	185,0 ± 0,0
Alcalinidade FL	mg CaCO ₃ L ⁻¹	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
Dureza Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	200,8 ± 9,4	25,4 ± 4,6
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	71,0 ± 11,0	7,5 ± 0,92
Dureza Magnesiana	mg CaCO ₃ L ⁻¹	31,6 ± 4,5	4,3 ± 0,9
Coliformes Totais	UFC/100 ml	>542	-

⁽¹⁾ Abaixo do limite de detecção.

3.2 Precipitação química básica

3.2.1 Estudo da influência do reagente precipitante com agitação mecânica

Para avaliar a influência do tipo de reagente nas reações de precipitação química utilizaram-se três reagentes diferentes: cal viva (CaO); cal hidratada industrial e hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂). Na Figura 7 (a-e) encontram-se sumarizados os resultados obtidos para os parâmetros analisados no estudo do melhor reagente precipitante e melhor pH de trabalho. A partir da Figura 7(a),

pode verificar-se que, em relação às necessidades de aplicação de reagente é necessário mais CaO (cal viva) do que qualquer outro reagente (sendo o menor valor de reagente aplicado em g pertencente à cal hidratada) para obtenção dos mesmos pHs de reação. Apesar das necessidades de aplicação de reagente aumentarem consoante o aumento de pH um aumento abrupto é apenas registado após pH 12,0 (para todos os reagentes), Figura 7 (a). Quanto à produção de lamas, Figura 7(b), o reagente mais eficiente (menor produção) é a cal hidratada a pH 11,0 (37,5 ml L⁻¹). Os valores de CE, Figura 7(c), são bastante semelhantes para todos os reagentes e pHs até pH 11,5. Acima de pH 12,0 a CE aumenta para a cal viva e o hidróxido de cálcio, mas continua a diminuir para a cal hidratada. Como se pode observar, as CE mínimas do sobrenadante registam-se para valores de Ph de 11,5 para as todas as amostras. Estes valores mínimos de condutividade correspondem à máxima precipitação de carbonato de cálcio (CaCO₃) existentes na água, Figura 6. Se observarmos o gráfico de solubilidade de CaCO₃ em água, verifica-se que esta substância apresenta solubilidade mínima para valores de pH a partir de 10,5 (Carvalho, 2011; Miguel, 2012)

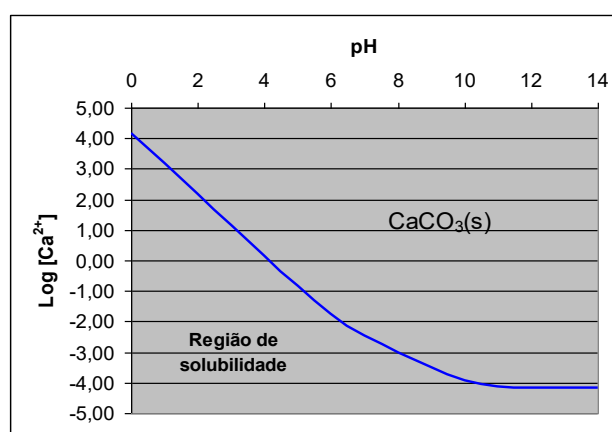


Figura 6 - Gráfico de solubilidade de CaCO₃ em água (Carvalho, 2011; Miguel, 2012).

O reagente que mais matéria orgânica removeu (medida como CQO) foi a cal hidratada a pH 11,5 (151 mg O₂ L⁻¹), Figura 7(d). A remoção da matéria orgânica está inteiramente relacionada com a formação e sedimentação do carbonato de

cálcio durante o processo de precipitação, que atua como agente coagulante, fazendo arrastar a matéria orgânica. Os valores para a turvação (para todos os reagentes) diminuem consoante o aumento do pH, apenas para a cal viva a pH 12,5 existe um aumento da turvação em relação ao pH anterior. A menor turvação foi observada para a cal hidratada industrial (0,3 NTU) a pH 12,5, Figura 7(e).

A seleção do melhor reagente e pH dependeu da análise dos parâmetros físico-químicos analisados e da importância de cada um deles, ou seja, dos critérios a definir pelo utilizador. No presente caso, selecionou-se a cal hidratada como reagente precipitante e um pH de trabalho de 11,5 pois estes proporcionam, a menor utilização de reagente e a maior remoção de matéria orgânica, produzindo ao mesmo tempo a menor quantidade de lamas.

A dose de cal ótima aplicar nos tratamentos por PQBm foi então determinada como sendo 0,7g Ca(OH)_2 por litro de AR a tratar.

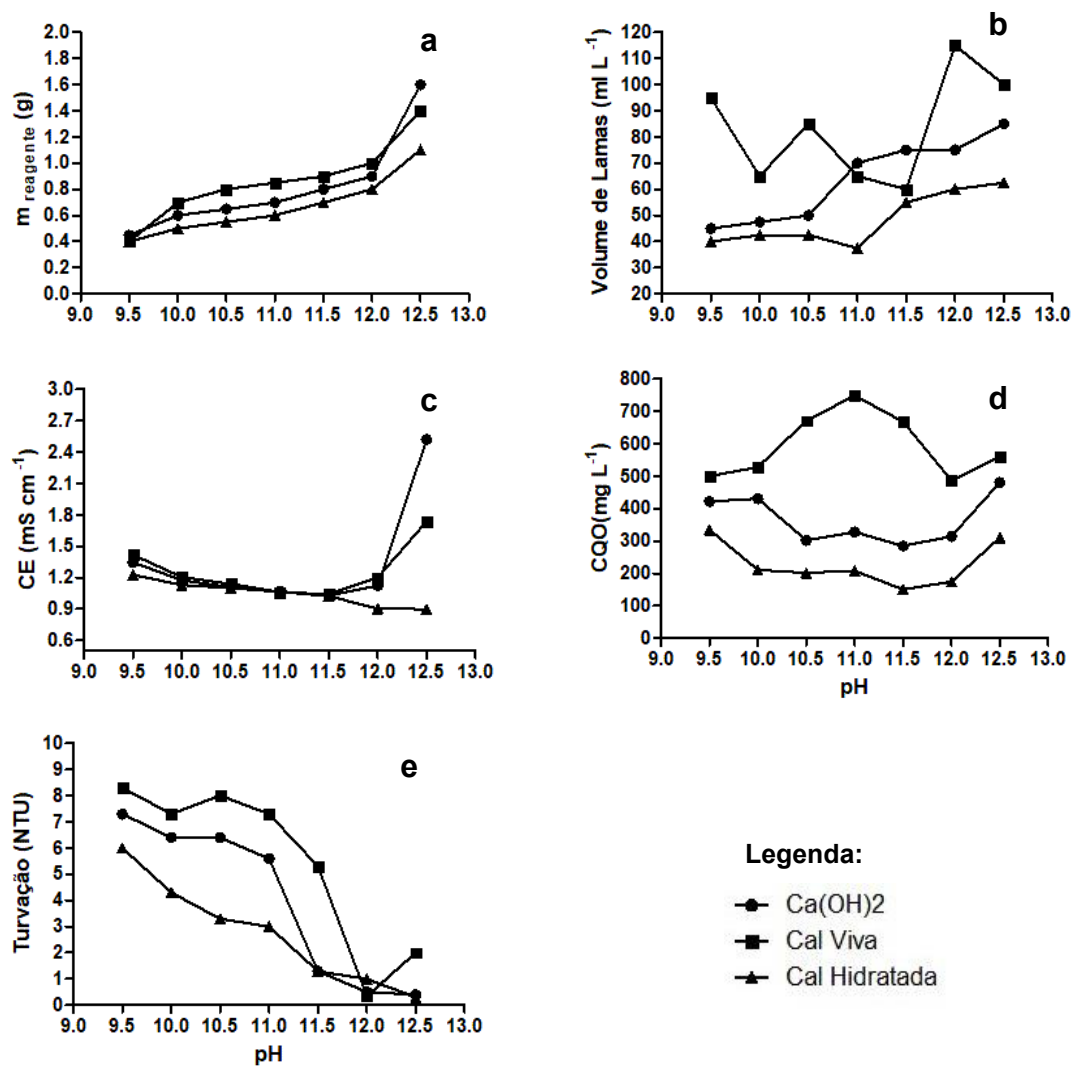


Figura 7 –Parâmetros analisados no estudo do melhor reagente precipitante e melhor pH de trabalho.

3.2.2 Estudo da influência do método de agitação na precipitação química

Como discutido no ponto 1.2. a escassez de água, maioritariamente em países subdesenvolvidos, onde os recursos tecnológicos, energéticos e alimentares são também escassos, continuará a aumentar durante as próximas décadas. Existe, portanto, uma necessidade cada vez maior de desenvolver métodos de tratamento e reutilização de águas para zonas de clima árido ou semiárido, zonas rurais e zonas desfavorecidas (Haddad et al., 2011; Vaillant et al., 2003). Assim, o estudo do processo de precipitação química com agitação manual (PQBm) pretende colmatar essa necessidade.

Os ensaios de escolha de reagente e pH de trabalho foram efetuados com agitação mecânica, em placa agitadora (como descrito no ponto 2.3.1.), no entanto, tratamento de precipitação química básica estudado para este trabalho destina-se a ser aplicado através de agitação manual. Assim, foi comparada a qualidade do efluente resultante de ambos os tipos de agitação, manual vs mecânica, que se encontram resumidos na Tabela 12. Estes resultados mostram que existe uma diferença na qualidade do efluente final consoante o método de agitação, especialmente no que toca à matéria orgânica e às partículas em suspensão. O método de agitação mecânica alcançou, respetivamente, uma remoção de CQO e de turvação 34% e 28% superior à agitação manual. Estes resultados poderão explicar-se através do menor volume de lamas obtido no processo de PQB manual.

Tabela 12 – Qualidade do efluente do tratamento por PQB resultante de agitação manual e agitação mecânica.

Parâmetros	Unidades	PQB manual	PQB mecânica
Quantidade de reagente	g L-1	0,7	0,7
Volume de lamas	ml	50	55
CQO	mg O2 L-1	245	151
Turvação	NTU	1,8	1,3
CE	mS cm -1	1,141	1,023

3.3 Neutralização natural

Após PQB a água apresenta um pH demasiado elevado ($\text{pH} > 9,5$) para poder ser reutilizada ou descarregada em meio hídrico é, portanto, necessário um abaixamento de pH. Este abaixamento é possível sem recurso a reagentes, utilizando o CO_2 atmosférico, através de reações espontâneas de carbonatação ou através de injeção de ar. Estes processos são descritos através das equações 7 a 12.

O ensaio de NN com efluente exposto à atmosfera e com injeção de ar foi apenas realizado em Portugal, nas ARUV de modo a testar o modo mais rápido de carbonatação do efluente a aplicar no ensaio na Antártica.

Na Figura 8 (a), observa-se a tendência de diminuição do pH ao longo do tempo, que vai desde $\text{pH} \approx 11,5$ até $\text{pH} \approx 8,0$ ao fim de 9 dias para a NN do efluente exposto à atmosfera (E. atmosfera) e ao fim de 4 dias para a NN do efluente exposto à atmosfera com injeção de ar (I. ar).

Observa-se uma flutuação da CE, Figura 8 (b), ao longo do tempo para a NN do efluente exposto à atmosfera e para a NN do efluente exposto à atmosfera com injeção de ar. Após uma descida acentuada no 1º e 2º dia observou-se um aumento de CE com início no 2º ou 3º dia e que flutuou até ao final de cada ensaio, com várias subidas e descidas. Uma das razões para tal poderá estar relacionada com a redissolução de iões responsáveis pela CE da parte das lamas para a solução. No presente trabalho não se efetuou controlo da evaporação nem caracterização das lamas.

Devido à maior rapidez do processo todos os ensaios subsequentes foram realizados com recurso a NN com injeção de ar.

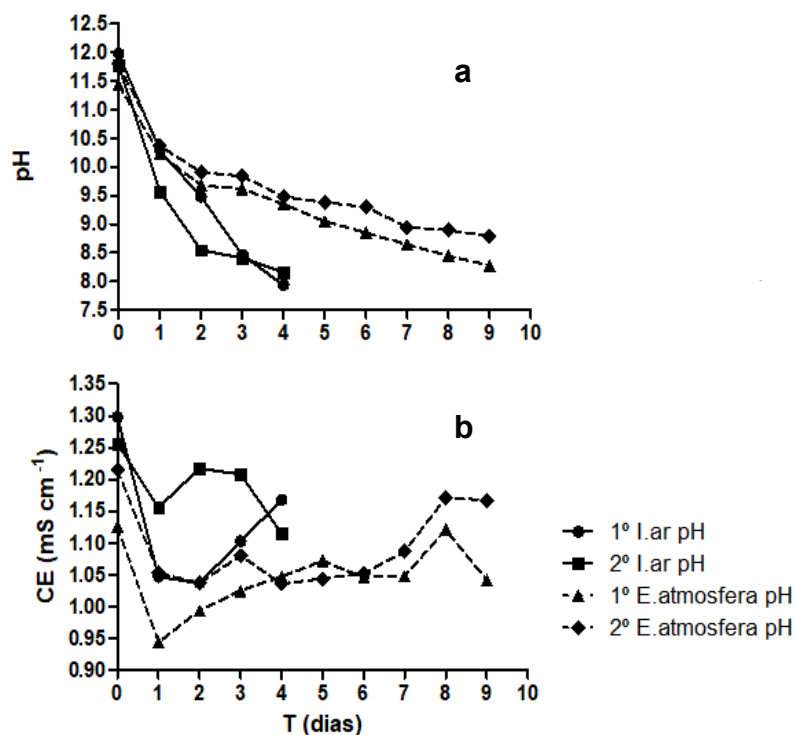


Figura 8 Gráficos representativos do pH (a) e CE (b) durante NN, para o efluente exposto à atmosfera (E. atmosfera) e para o efluente com injeção de ar (I. ar).

3.4 Avaliação da qualidade do efluente obtido por PQNm+NN

Tal como já foi referido, após obtenção do processo otimizado de PQB manual ($0,7 \text{ g Ca(OH)}_2 \text{ L}^{-1}$; pH 11,5) e NN com injeção de ar este foi aplicado às ARUV e às ARDA, os resultados obtidos encontram-se resumidos na Tabela 13.

3.4.1 Comparação da eficiência da PQNm e NN nas ARUV e ARDA

A eficiência de remoção dos processos PQBm e NN nas ARUV, Tabela 13, foi de: SDT-15%, Turvação-98%, SST-92%, CQO-88%, CBO_5 -85%, P_{total} -89%, N-NH_4^+ -38%, N-Kjeldahl-58%, N-Orgânico-75%, N_{total} -58%, Alcalinidade Total-6% e Coliformes totais-100%.

A eficiência de remoção dos processos PQBm e NN nas ARDA, Tabela 13, foi de: CQO-58%, P_{total} -76%, N-NH_4^+ -2%, N-Kjeldahl-32%, N-Orgânico-73% e N_{total} -32%. Foram realizados menos parâmetros que nas águas do ARUV em Portugal

devido à dificuldade em transportar volume de amostra suficiente para a realização de todos os parâmetros.

Comparando a eficiência do processo de tratamento por PQBm e NN nas duas águas pode concluir-se que o processo foi mais eficaz para as ARUV, provavelmente devido à baixa alcalinidade e dureza total das ARDA, fatores essenciais para as reações de PQB, como referido no ponto 1.3.1. Por outro lado, verifica-se um elevado aumento da dureza total da ARDA podendo eventualmente dever-se a fenómenos de resuspensão de precipitado da PQBm durante as reações de NN.

3.4.2 Comparação da qualidade do efluente obtido por PQNm e NN nas ARUV e nas ARDA

O efluente do tratamento por PQBm e NN aplicado às ARUV alcançou parâmetros para reutilização em rega para a maioria dos contaminantes analisados, Tabela 13, sendo a CE ($1,144 \text{ mS cm}^{-1}$), os SDT (732 mg L^{-1}) e o N_{total} ($63,1 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$) os fatores limitantes (no DL nº 236/98 o VMR para águas de rega é de 1 mS cm^{-1} para a CE e de 640 mg L^{-1} para SDT e na NP 4434:2005 o valor recomendado para o N_{total} não deve ultrapassar $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$). No entanto para cultivo de alfaces em sistema hidropónico a CE está dentro dos valores considerados aceitáveis ($1,4 \text{ mS cm}^{-1}$ segundo Asao, 2012), tal como o valor de N_{total} , que se encontra até abaixo do aceite para cultivo hidropónico de alface (116 mg L^{-1}) (Parks et al., 2011). Os coliformes totais foram reduzidos de $>542 \text{ UFC/100 ml}$ a $0,7 \text{ UFC/100 ml}$, Tabela 11 e Tabela 13. A *Escherichia coli* (*E. coli*) e os coliformes fecais (ou termotolerantes) constituem um subgrupo das bactérias coliformes totais (APDA, 2012), como se observou a redução dos coliformes totais em 100% a eliminação dos subgrupos *E. coli* e coliformes fecais não foi testada.

O efluente do tratamento por PQBm e NN aplicado às ARDA alcançou parâmetros para reutilização em rega para a maioria dos contaminantes analisados, Tabela 13, sendo o N_{total} (53,8 mg N L⁻¹) e o P_{total} (3,2 mg P L⁻¹) os fatores limitantes. Na NP 4434:2005 o valor recomendado para o N_{total} não deve ultrapassar 50 mg N L⁻¹ e o P_{total} não deve exceder (para produtos hortícolas de consumo em cru) 3 mg P L⁻¹. No entanto para cultivo de alfaces em sistema hidropónico o valor de N_{total} e P_{total} , encontram-se até abaixo do aceite (116 mg N L⁻¹ e 22 mg P L⁻¹) (Parks et al., 2011).

Tabela 13 - Qualidade do efluente e % de remoção após processo de tratamento por PQBm+NN.

Parâmetros	Unidades	PQBm+NN			
		ARUV n=9		ARDA n= 3	
		Média ± DP	% remoção	Média ± DP	% remoção
pH	Sorensen	8,39 ± 0,25	-	8,50 ± 0,30	-
CE	mS cm ⁻¹	1,144 ± 0,069	-	0,918 ± 0,014	-
SDT (calculada)	mg L ⁻¹	732 ± 44	15	587 ± 9	-
Turvação	NTU	3,7 ± 1,3	98	-	-
SST	mg L ⁻¹	24 ± 28	92	-	-
CQO	mg O ₂ L ⁻¹	161 ± 32	88	359 ± 19	58
CBO₅	mg O ₂ L ⁻¹	67 ± 26	85	-	-
P_{total}	mg P L ⁻¹	1,4 ± 0,4	89	3,2 ± 0,7	76
NO₃^{(1) (2)}	mg NO ₃ L ⁻¹	0,5 ± 0,1	-2	-	-
NO₂⁽¹⁾	mg NO ₂ L ⁻¹	-	-	-	-
N- NH₄⁺	mg NH ₄ ⁺ L ⁻¹	43,2 ± 3,26	38	44,6 ± 1,7	2
N-Kjeldahl	mg N L ⁻¹	62,6 ± 6,56	58	53,8 ± 2,9	32
N-Orgânico	mg N L ⁻¹	19,4 ± 4,67	75	9,2 ± 1,5	73
N_{total}	mg N L ⁻¹	63,1 ± 6,59	58	53,8 ± 2,9	32
Alcalinidade Total⁽²⁾	mg CaCO ₃ L ⁻¹	278,3 ± 14,5	7,5	228,3 ± 5,8	-23
Alcalinidade FL	mg CaCO ₃ L ⁻¹	25,8 ± 5,0	-	0	
Dureza Total⁽²⁾	mg CaCO ₃ L ⁻¹	283,1 ± 16,8	-40,9	80,1 ± 0	-216
Dureza Cálcica⁽²⁾	mg CaCO ₃ L ⁻¹	137,6 ± 18,3	-93,8	23 ± 0,9	-208
Dureza Magnesiana⁽²⁾	mg CaCO ₃ L ⁻¹	35,4 ± 8,3	-12,1	13,9 ± 0,2	-219
Coliformes Totais	UFC/100 ml	0,7 ± 1,2	100	-	-

⁽¹⁾ Os valores não apresentados encontram-se abaixo do limite de deteção da técnica.

⁽²⁾ As remoções com sinal negativo indicam o aumento na concentração dos contaminantes.

3.5 Estudo da reutilização da água tratada por PQBm+NN como solução nutritiva em sistema NFT/LED para cultivo de alface

O pH das SN é importante pois controla a biodisponibilidade dos sais fertilizantes, como é possível verificar pela Figura 9, neste diagrama cada nutriente é representado por uma banda e a grossura da mesma é proporcional à disponibilidade do nutriente, que varia consoante o pH. Um pH de 5,8 é considerado ótimo para o cultivo de alface, no entanto, um intervalo de 5,6-6,0 é aceitável (Brechner et al., 2013). Podem ocorrer deficiências nutricionais a pH acima ou abaixo do intervalo aceitável (Brechner et al., 2013).

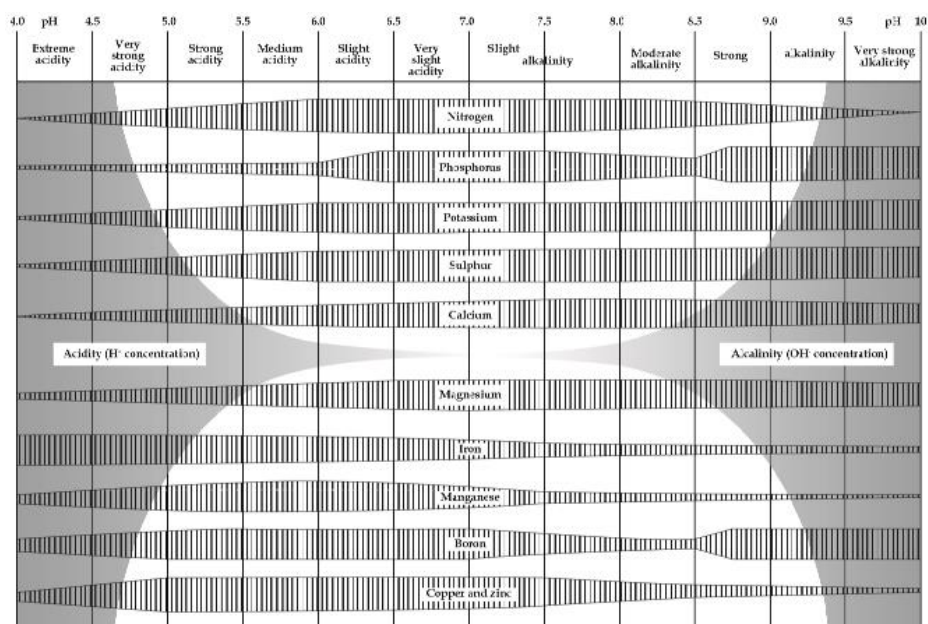


Figura 9 – Diagrama de Trough de disponibilidade de nutrientes (Asao, 2012).

A CE é uma medida dos sais dissolvidos numa solução. A assimilação dos nutrientes pelas plantas leva à sua diminuição, enquanto, a remoção de água da solução por processos de evaporação e transpiração leva ao seu aumento. Os iões associados à CE são: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, H⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, OH⁻ (Asao, 2012). A CE ideal é específica para cada cultura e depende das condições

ambientais, no entanto, os valores de CE para sistemas hidropônicos variam de 1,5 a 2,5 mS cm⁻¹. A CE elevada dificulta a assimilação de nutrientes aumentando a pressão osmótica, enquanto a CE baixa pode afetar gravemente a saúde e o rendimento das plantas. A alface apresenta baixa tolerância à salinidade, sendo o seu limite de tolerância 1,4 mS cm⁻¹ (Asao, 2012)

3.5.1 Monitorização da reutilização do efluente tratado como solução nutritiva no sistema NFT/LED

Durante o ensaio de reutilização em sistema NFT/LED com as ARUV tratadas por PQBm + NN como SN, o pH Figura 10 (a) e a CE Figura 10 (b) geralmente diminuíram durante cada ciclo de tratamento (14 dias). É possível que a descida de pH e CE da SN esteja relacionada com a assimilação de nutrientes pelas plantas, em termos do balanço catiões/aniões (Asao, 2012). O efluente final apresentou pH 7,46/CE 1,250 (1º ciclo) e pH 7,66/CE 1,007 (2º ciclo). No caso deste estudo o pH da SN esteve sempre acima do desejável para cultivo de alface (pH 8,39 no início do tratamento). A CE encontrou-se sempre próxima do desejável: 1,490 mS cm⁻¹ no início do tratamento e 1,128 mS cm⁻¹ no final do tratamento.

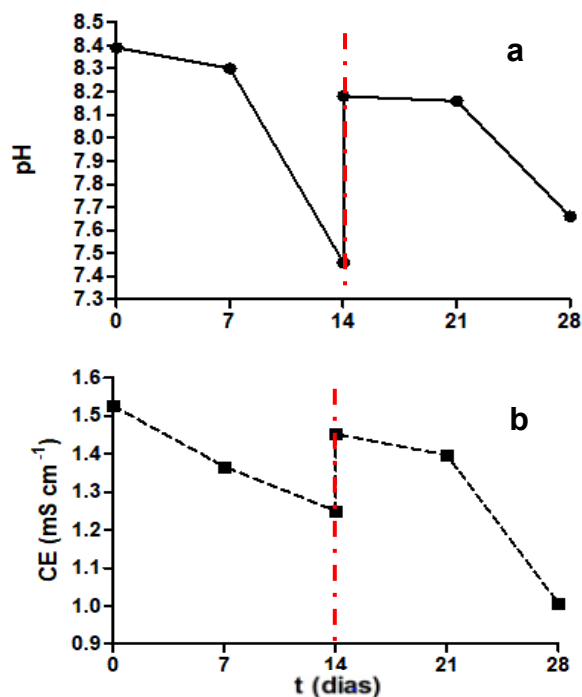


Figura 10 - Gráficos representativos do pH (a) e CE (b) durante o ensaio de cultivo hidropônico (a linha vermelha na perpendicular indica o dia de troca da SN).

3.5.2 Avaliação da eficiência do sistema NFT/LED na afinação do efluente tratado por PQBm e NN

Nas ARUV

No efluente final do processo de tratamento em sistema NFT/LED, Tabela 14, a concentração de NO_3^- aumentou 116%, a concentração de NH_4^+ diminuiu 97%, e os valores de concentração de NO_2^- permaneceram abaixo do limite de detecção. Como paralelamente à diminuição do NH_4^+ observamos o aparecimento de NO_3^- e acidificação do efluente pode-se pressupor a ocorrência do processo de nitrificação-desnitrificação, que foi relatado como transformando o NO_2^- e NO_3^- em N_2 gasoso em regiões anóxicas (Haddad et al., 2011; Vaillant et al., 2003), no entanto, como a concentração de NO_3^- é baixa (1 mg L^{-1}) e a de NO_2^- não detetável, a maioria do NH_4^+ terá sido removido por absorção pelas plantas (assimilação pela biomassa) (Vaillant et al., 2003). O N_{total} , que soma o NH_4^+ , as

formas oxidadas (NO_2^+ e NO_3^+) e as formas orgânicas, foi removido em 86%. Houve também redução de P_{total} em cada ciclo de tratamento (44%), o P_{total} soma, principalmente, os ortofosfatos (PO_4^{3-}), o fósforo particulado e o fósforo orgânico. Na reutilização de AR como SN para cultivo hidropônico o fósforo orgânico é convertido pela atividade bacteriana em fósforo mineral, assimilável pelas plantas e o fósforo particulado é removido por filtração e sorção nas raízes das plantas (Vaillant et al., 2003). A percentagem de remoção deste parâmetro sensível à carga inicial (cargas $>10\text{mg L}^{-1}$ têm taxas de remoção mais lentas) (Vaillant et al., 2003), que no caso deste estudo foi baixa ($1,4 \text{ mg P L}^{-1}$). O sistema NFT/LED foi também eficaz na redução dos parâmetros CBO_5 (40%) e CQO (39%). Os SST, e indiretamente a CBO_5 e CQO, são removidos por filtração e adsorção, sendo os sólidos presos nas raízes das plantas decompostos e mineralizados por bactérias (Vaillant et al., 2003).

Nas ARDA

No efluente final do processo de tratamento em sistema NFT/LED, Tabela 14, a concentração de NH_4^+ diminuiu 48%, e os valores de concentração de NO_3^- , NO_2^- permaneceram abaixo do limite de detecção. O N_{total} , que soma o NH_4^+ , as formas oxidadas (NO_2^+ e NO_3^+) e as formas orgânicas, foi removido em 50%. Os principais mecanismos de remoção do N_{total} neste tipo de sistemas são a desnitrificação, a absorção pela biomassa e a volatilização (Vaillant et al., 2003). Como não foram detectados valores de NO_3^- ou NO_2^- presume-se que não ocorreu o processo de nitrificação/desnitrificação, tendo a redução do N_{total} estado relacionada principalmente com a absorção pela biomassa (Haddad et al., 2011; Vaillant et al., 2003). Houve também redução geral de P_{total} em cada ciclo de tratamento (72%), a remoção do fósforo pode ocorrer por sorção, complexação, precipitação ou assimilação pela biomassa (Vaillant et al., 2003). Como referido anteriormente, a percentagem de remoção deste parâmetro sensível à carga inicial (cargas $>10\text{mg L}^{-1}$ têm taxas de remoção mais lentas)

(Vaillant et al., 2003), que no caso deste estudo foi baixa ($3,2 \text{ mg P L}^{-1}$). O sistema NFT/LED foi também eficaz na redução de CQO (66%). O CQO é removido por filtração e adsorção, sendo a matéria orgânica decomposta e mineralizada por bactérias nas raízes das plantas (Vaillant et al., 2003).

3.5.3 Avaliação da qualidade do efluente obtido no sistema NFT/LED

Nas ARUV

Após 14 dias (um ciclo de tratamento), para a maioria dos contaminantes analisados, Tabela 14, o efluente do sistema NFT/LED, atinge os níveis de qualidade legais para utilização em rega (DL nº 236/98, NP 4434:2005 e recomendações da FAO) ou descarga (DL nº 152/97 e DL nº 236/98). Apenas o VMR para águas destinadas à rega (DL 236/98), relativo os SDT (640 mg l^{-1}) e à CE (1 mS cm^{-1}) não são atingidos (CE $1,128 \text{ mS cm}^{-1}$ e SDT 722 mg l^{-1} , no efluente final) e para o P_{total} não é respeitado o VLE para descarga direta em lagoas ou albufeiras (DL 236/98) de $0,5 \text{ mg P L}^{-1}$ ($0,9 \text{ mg P L}^{-1}$, no efluente final).

Nas ARDA

Após 14 dias (um ciclo de tratamento), para a maioria dos contaminantes analisados, Tabela 14, o efluente do sistema NFT/LED, atinge os níveis de qualidade legais para utilização em rega (DL nº 236/98, NP 4434:2005 e recomendações da FAO). Apenas o VMR para águas destinadas à rega (DL nº 236/98), relativo os SDT (640 mg l^{-1}) e à CE (1 mS cm^{-1}) não são atingidos (CE $1,141 \text{ mS cm}^{-1}$ e SDT 730 mg l^{-1} , no efluente final). No entanto a maioria dos valores para descarga de águas residuais tratadas não são atingidos (DL nº 236/98 e DL nº 152/97), com exceção do CQO ($122 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), VLE de $150 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ no DL nº 236/98 e de $125 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ DL nº 152/97. Quanto ao P_{total} ($0,8 \text{ mg P L}^{-1}$) não é respeitado o VLE para descarga direta em lagoas ou albufeiras de $0,5 \text{ mg P l}^{-1}$ (DL nº 236/98), quanto ao NH_4^+ ($23 \text{ mg NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$) e ao N_{total} ($26,8 \text{ mg N L}^{-1}$).

¹⁾ não são respeitados os valores de descarga quer do DL nº 236/98 quer do DL nº 152/97 (valores entre 10 e 15 mg L⁻¹).

Tabela 14 – Qualidade do efluente e % de remoção após afinação em sistema hidropónico NFT/LED.

Parâmetros	Unidades	Hidroponia			
		ARUV		ARDA	
		n=6		n=3	
		Média ± DP	% remoção	Média ± DP	% remoção
pH	Sorensen	7,56 ± 0,23	-	8,5 ± 0,1	-
CE	mS cm ⁻¹	1,128 ± 0,018	-	1,141 ± 0,034	-
SDT (calculada)	mg L ⁻¹	722 ± 118	2	730 ± 22	-
Turvação	NTU	-	-	-	-
SST	mg L ⁻¹	-	-	-	-
CQO	mg L ⁻¹ O ₂	106 ± 20	39	122 ± 34	66
CBO ₅	mg L ⁻¹ O ₂	40 ± 0	40	-	-
P _{total}	mg L ⁻¹ P	0,9 ± 0,1	44	0,8 ± 0,7	72
NO ₃ ^{(1) (2)}	mg L ⁻¹ NO ₃	1,0 ± 0,6	-116	-	-
NO ₂ ⁽¹⁾	mg L ⁻¹ NO ₂	-	-	-	-
N- NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹ NH ₄ ⁺	1,6 ± 0,9	97	23,0 ± 3,1	48
N-Kjeldahl	mg L ⁻¹ N	7,4 ± 2,8	88	26,8 ± 3,1	50
N-Orgânico	mg L ⁻¹ N	5,8 ± 3,1	65	3,8 ± 3,3	58
N _{total}	mg L ⁻¹ N	8,4 ± 3,0	86	26,8 ± 3,1	50
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	221,1 ± 10	21	141,6 ± 5,7	38
Alcalinidade FL	mg CaCO ₃ L ⁻¹	0,0 ± 0,0	-	0,0 ± 0,0	-
Dureza Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	222,9 ± 16,2	21	98,7 ± 6,1	-23
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	68,4 ± 6,5	50	39 ± 0,9	-70
Dureza Magnesiana	mg CaCO ₃ L ⁻¹	37,5 ± 4,0	-6	14,5 ± 1,7	-5
Coliformes Totais	UFC/100 ml	0	100	-	-

⁽¹⁾ Os valores não apresentados encontram-se abaixo do limite de deteção da técnica.

⁽²⁾ As remoções com sinal negativo indicam o aumento na concentração dos contaminantes.

3.5.4 Avaliação da eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED

Nas ARUV

O eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED na remoção de contaminantes, Tabela 15, foi de: CQO - 93%, CBO₅ - 91%, P_{total} - 93%, NH₄⁺ - 98%, N-Kjeldahl - 95%, N-Orgânico - 92% e N_{total} - 94%. Houve um aumento de: NO₃ -130% (como referido no ponto 3.5.2, possivelmente devido à ocorrência do processo de nitrificação-desnitrificação).

Nas ARDA

Como para a Antártica não se encontram estabelecido valores para a descarga dos contaminantes presentes nas águas residuais, ficando o estabelecimento destes à descrição dos países responsáveis pelas bases de investigação, neste trabalho foram utilizados os valores legais para Portugal (DL nº 236/98 e DL nº 152/97).

O eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED na remoção de contaminantes foi de: CQO - 86%, P_{total} - 93%, NH_4^+ - 49%, N-Kjeldahl - 66%, N-Orgânico - 89% e N_{total} - 66%, Tabela 15, Sendo todos estes valores inferiores aos do ensaio realizado em Portugal.

Tabela 15 – Eficiência global do sistema PQBm + NN + NFT/LED.

Parâmetros	% remoção global	
	ARUV	ARDA
CQO	93	86
CBO ₅	91	-
P_{total}	93	93
$NO_3^{(1)(2)}$	-130	-
$NO_2^{(1)}$	-	-
N- NH_4^+	98	49
N-Kjeldahl	95	66
N-Orgânico	92	89
N_{total}	94	66
Coliformes Totais	100	-

⁽¹⁾ Os valores não apresentados encontram-se abaixo do limite de deteção da técnica.

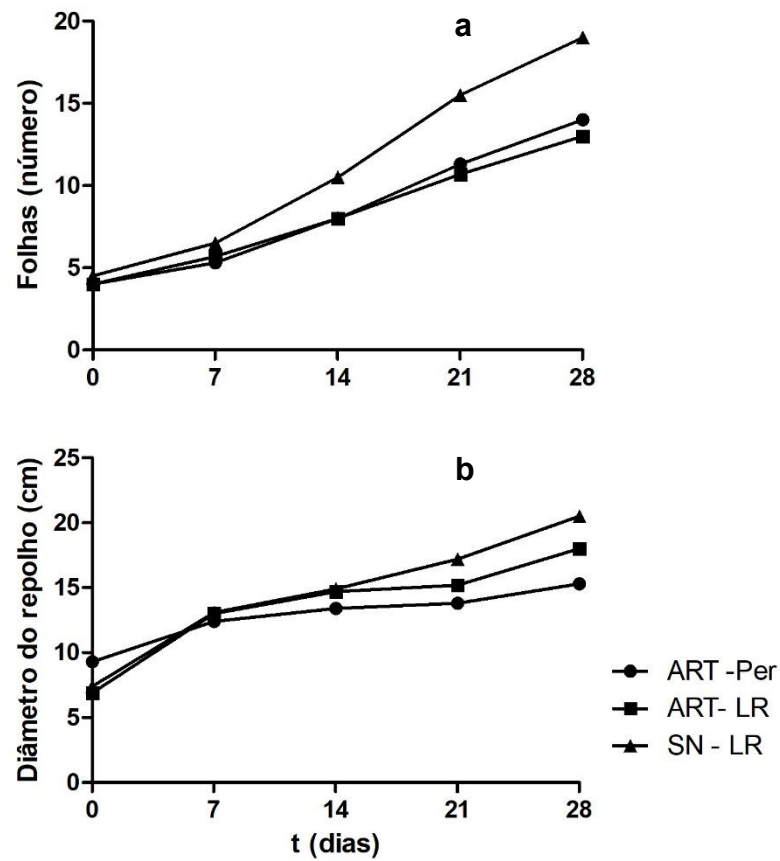
⁽²⁾ As remoções com sinal negativo indicam o aumento na concentração dos contaminantes.

3.5.5 Avaliação das plantas de alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*)

Desenvolvimento das plantas de alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*) com solução nutritiva de ARUV

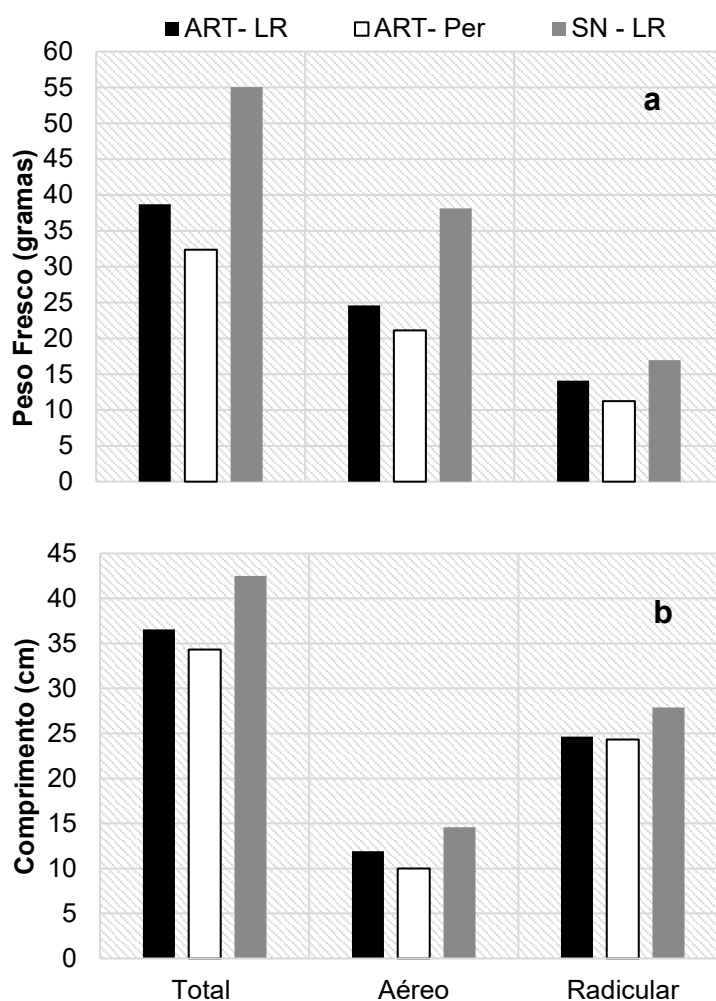
Verificaram-se diferenças entre as duas SN utilizadas, para todos os parâmetros observados, obtendo-se valores superiores nas alfaces produzidas com a SN denominada comercial. O número de folhas, Figura 11 (a), foi de 19 nas alfaces

produzidas com a SN comercial, substrato de lã de rocha, de 13 e 14 nas produzidas com a SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, com substrato de lã de rocha e perlite, respetivamente. O diâmetro do repolho, Figura 11 (b) também foi mais pequeno nas alfaces produzidas com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN (18,0 e 15,3 cm para substrato de lã de rocha e perlite, respetivamente), comparativamente com as obtidas a partir da SN comercial (20,5 cm). Relativamente ao peso fresco da parte aérea, Figura 12 (a), os valores foram de 38,1 g para a SN comercial, 24,6 g e 21,1 g para SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, com substrato de lã de rocha e perlite, respetivamente. O mesmo padrão foi registado relativamente ao comprimento da parte aérea, Figura 12 (b), sendo os resultados de 14,6 cm, 11,9 cm e 10,0 cm para as plantas cultivadas com SN comercial, a SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, com substrato de lã de rocha e perlite, respetivamente. No que diz respeito ao peso e ao comprimento da raiz, as diferenças não foram tão acentuadas entre as duas SN (nem entre os substratos), no entanto, o peso e comprimento da raiz foi superior para as plantas cultivadas com SN comercial. As plantas cultivadas com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN revelaram também densidades menores que as cultivadas com recurso à SN comercial, como se pode verificar pela % Matéria Seca, AFE (quanto menor maior a densidade) e MFE (os valores mais elevados indicam maior densidade), Tabela 16. O peso seco da parte aérea indica também que a biomassa das plantas cultivadas em SN comercial é mais elevada (1,9 g) que a das plantas cultivadas com recurso a efluente do tratamento por PQBm+NN como SN, Tabela 16.



Legenda: SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato lã de rocha (ART-LR); SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite (ART-Per) e SN nutritiva comercial (SN-LR).

Figura 11 – Evolução no diâmetro do repolho e no número de folhas para as plantas cultivadas, de acordo com a SN e o substrato utilizado.



Legenda: SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato lã de rocha (ART-LR); SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite (ART-Per) e SN nutritiva comercial (SN-LR).

Figura 12- Peso fresco e comprimento (total, aéreo e radicular) das plantas cultivadas de acordo com a SN e substrato utilizado.

Tabela 16 – Índices de crescimento das plantas de acordo com o tipo de SN e substrato utilizado.

	Área foliar (cm ²)	Peso seco (parte aérea) (g)	Matéria Seca (%)	Área foliar específica (AFE) (cm ² g ⁻¹)	Massa foliar específica (MFE) (g cm ⁻²)
ART- LR	460	1,2	4,8	392,8	0,05
ART - Per	420,1	1	4,9	407,3	0,05
SN - LR	581,1	1,9	5	304,7	0,07

Legenda: SN nutritiva comercial (SN-LR); SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato lã de rocha (ART-LR) e SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite (ART-Per).

Desenvolvimento das plantas de alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*) com solução nutritiva de ARDA

No ensaio realizado na Antártica o período de desenvolvimento das plantas foi reduzido aos 14 dias de um ciclo de tratamento de águas e, em consequência da ausência de material adequado para recolher mais parâmetros, foram apenas efetuadas medições e pesagens ao peso fresco das plantas. O ensaio foi realizado com recurso à ARD da base após tratamento pelo processo PQBm + NN com injeção de ar, sendo o substrato utilizado a lã de rocha pois este demonstrou ser mais adequado que o substrato perlite (como discutido no ponto anterior, “Desenvolvimento das plantas de alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*) com SN de água residual tratada por PQBm + NN + NFT/LED em Portugal”).

Na Tabela 17 apresentam-se os valores registados para o desenvolvimento das plantas durante o ensaio realizado na Antártica. Pode-se verificar que as plantas se desenvolveram, tendo havido o aumento do número de folhas, diâmetro do repolho, peso (total, foliar e radicular) e comprimento (total e foliar). Verificou-se, no entanto, a diminuição do comprimento da raiz. O parâmetro com o aumento mais significativo foi o peso total (62 %).

Tabela 17 – Valores para o desenvolvimento das plantas de alface durante o ensaio na Antártica.

		Inicial	7 dias	14 dias	Aumento (%)
Comprimento	Total (cm)	11,8	-	13,4	11
	Foliar (cm)	3,7	4,7	6,2	41
	Raiz (cm)	8,2	-	7,2	-14
Nº Folhas (nº)		3,5	4,3	6,5	46
Diâmetro repolho (cm)		4,8	5,9	9,6	50
Peso	Total (g)	1,1	-	3,0	62
	Foliar (g)	-	-	2,0	-
	Raiz (g)	-	-	1,0	-

3.5.6 Análise sensorial das alfaces (*Lactuca sativa* var. *crispa*)

A análise sensorial das alfaces cultivadas foi realizada apenas no ensaio em Portugal, com utilização das ARUV como solução nutritiva. Os provadores encontravam-se principalmente na faixa etária acima dos 35 anos (52%), os restantes 25-35 (3%) e abaixo de 25 (8%). Todos reportaram consumir alface frequentemente, o elevado hábito de consumo de alface vai de encontro ao observado por Vicentini-Polette et al. (2018), que reportou o hábitos de compra deste vegetal por parte dos provadores duas a três vezes por semana.

Na prova de preferência: 37% mostrou preferência pela alface cultivada em SN nutritiva comercial, substrato de lã de rocha, 33% mostrou preferência pela alface cultivada com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato de lã de rocha e 30% mostrou preferência pela alface cultivada com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite.

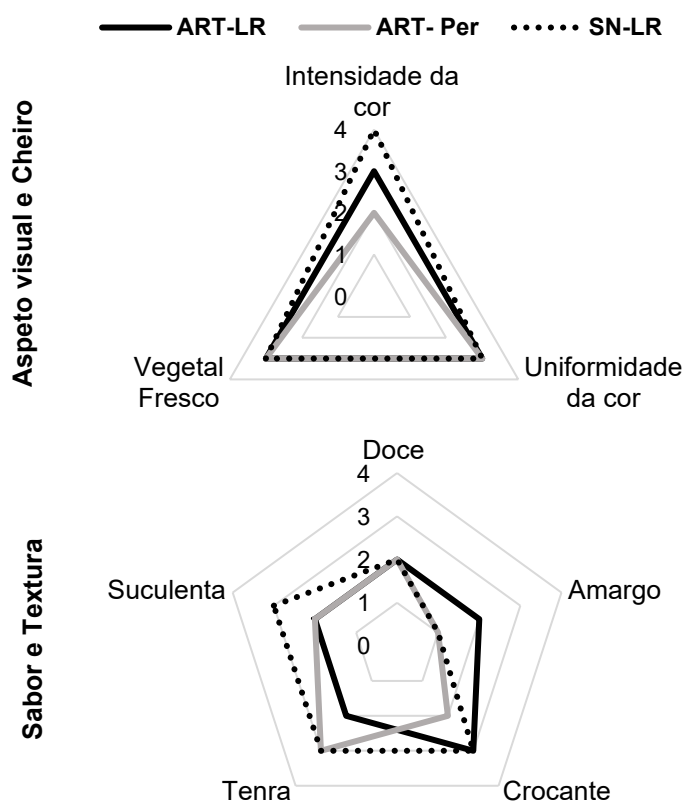
Quanto à prova de aceitação, a alface com os melhores resultados, para a maioria dos atributos, foi a alface cultivada com SN nutritiva comercial, substrato de lã de rocha. A alface cultivada com SN nutritiva comercial obteve valores acima de todas as outras para intensidade da cor (4) e suculência (3), Figura 13. Quanto aos atributos, vegetal fresco, uniformidade da cor e doçura todas as alfaces obtiveram a mesma pontuação (3). A alface cultivada com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato de lã de rocha, no entanto, obteve o resultado mais elevado para o amargor (2), enquanto as outras duas alfaces obtiveram a pontuação mínima (1), Figura 13. A alface cultivada com SN nutritiva comercial obteve a pontuação mais elevada para a suculência (3), as alfaces cultivadas com SN nutritiva comercial e com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite obtiveram pontuação semelhante quanto à tenrura (3) e as alfaces cultivadas com SN nutritiva comercial e com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato de lã de rocha obtiveram a pontuação máxima para a crocância (3).

Em termos dos descritores negativos, folha murcha, cheiro e sabor desagradável, os provadores, consumidores habituais de alface, atribuíram as menores pontuações (1=ausente), o que poderá significar que os tratamentos desenvolvidos não afetaram negativamente a qualidade sensorial das alfaces cultivadas com recurso a água residual tratada como solução nutritiva, Figura 13 e Tabela 18. A análise gráfica foi, portanto, apenas realizada para os atributos positivos, Figura 13.

Quanto à análise de variância com um fator (One-Way ANOVA) não existiram diferenças estatisticamente significativas entre a maioria das alfaces ($p < 0,05$), cultivada com as diferentes SN e os diferentes substratos, exceto para a alface cultivada com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite, para o atributo intensidade da cor, esta diferença foi verificada para com a SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato de lã de rocha ($p = 0,0004$) e para com a SN comercial, substrato lã de rocha ($p = 0,0001$), Tabela 18.

Os resultados obtidos para a análise sensorial das alfaces produzidas durante este estudo, quando comparados aos valores reportados por Vicentini-Polette et al. (2018), que analisou sensorialmente (através de uma escala hedónica de 7 pontos) alfaces produzidas em sistema hidropónico, mostram que a textura é, em ambos os estudos, um atributo que apresenta pouca variabilidade, no caso deste estudo maioritariamente 3, Figura 13 e Tabela 18, e segundo Vicentini-Polette et al. (2018), maioritariamente 5. Também, segundo Vicentini-Polette et al. (2018) o aspeto visual (cor) e o sabor (doçura) são especialmente importantes nas preferências do consumidor, no presente estudo, não existiram diferenças entre esses atributos para as várias alfaces cultivadas (exceto para a intensidade da cor, na alface cultivada com SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite), Tabela 18 o que poderá explicar a pouca variabilidade na preferência de compra por parte do consumidor. Não existe, no entanto,

literatura abundante sobre análise sensorial de produtos cultivados com recurso a reutilização de águas residuais tratadas.



Legenda: SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato lã de rocha (ART-LR); SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite (ART-Per) e SN nutritiva comercial (SN-LR). **Escala:** 1=ausente; 2=pouco intenso; 3= intenso e 4= muito intenso.

Figura 13- Perfil sensorial das alfaces cultivada.

Tabela 18 – Análise estatística do perfil sensorial das alfaces cultivada.

Atributos	Referência	ART-LR	ART-Per	SN-LR
		(Média ± DP)		
Apeto visual	Intensidade da cor	3,2 ± 0,7a	2,4 ± 0,7a	3,4 ± 0,7b
	Uniformidade da cor	3,8 ± 0,8a	2,7 ± 0,7a	2,9 ± 0,7a
	Folha murcha	1,6 ± 0,9a	1,6 ± 1,0a	1,6 ± 0,8a
Cheiro	Vegetal Fresco	2,8 ± 0,8a	2,7 ± 0,9a	2,8 ± 0,9a
	Desagradável	1,1 ± 0,4a	1,3 ± 0,5a	1,2 ± 0,7a
Sabor	Doce	2,0 ± 0,8a	1,8 ± 0,8a	2,0 ± 0,7a
	Amargo	2,0 ± 0,9a	1,9 ± 0,9a	1,8 ± 0,9a
	Desagradável	1,3 ± 0,6a	1,4 ± 0,5a	1,2 ± 0,8a
Textura	Crocante	3,7 ± 1,0a	2,4 ± 1,0a	2,5 ± 0,9a
	Tenra	2,6 ± 0,8a	2,6 ± 0,8a	2,8 ± 0,9a
	Suculenta	2,5 ± 0,8a	2,5 ± 0,9a	2,6 ± 0,7a

Nota: Médias com notação alfabética diferente são significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Legenda: SN nutritiva comercial (SN-LR); SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato lã de rocha (ART-LR) e SN do efluente do tratamento por PQBm+NN, substrato perlite (ART-Per).

4. Conclusões

Este trabalho vem demonstrar que existem alternativas aos atuais sistemas de tratamento de águas residuais por processos biológicos, visto o tratamento por PQBm+NN ter obtido remoções elevadas, inclusivamente de Coliformes Totais, nas ARUV, que permitem a reutilização do efluente tratado em cultivo hidropónico de alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*). A tratamento por PQBm+NN aplicado às ARDA não alcançou remoções tão elevadas como a sua aplicação às ARUV, possivelmente devido a características inerentes das ARDA, como a sua menor alcalinidade e baixa dureza total, no entanto o efluente demonstrou qualidade suficiente para reutilização em cultivo hidropónico de alface.

Apesar de não analisadas neste estudo as lamas resultantes do processo de PQBm+NN, podem apresentar ainda potencialidades de reutilização agrícola, pois encontravam-se estabilizadas e ricas em matéria orgânica (CQO e CBO₅) e P, uma vez que se obtiveram remoções elevadas destes parâmetros.

O sistema de cultivo e afinação NFT/LED permitiu ainda mais a remoção de nutrientes e matéria orgânica nas ARUV, levando o efluente a níveis de qualidade legal que poderão permitir a sua utilização como água de rega (aparecendo apenas a CE como um fator limitante para este tipo de utilização) ou descarga no meio hídrico, após 14 dias de tratamento. De novo, o tratamento aplicado às ARDA mostrou menores eficiências de remoção e consequentemente produziu um efluente de pior qualidade. No entanto, o tratamento de cultivo e afinação NFT/LED foi aplicado às ARDA apenas durante um ciclo (14 dias), enquanto às ARUV foi aplicado durante dois ciclos (de 14 dias cada), estando, portanto, as alfaces menos desenvolvidas.

Perante os resultados agronómicos, podemos dizer que conseguimos produzir alfaces, através da reutilização do efluente tratado por PQBm+NN como SN, mas com um baixo valor comercial, quando comparadas com as alfaces

produzidas utilizando a SN comercial. A adição de nutrientes, de acordo com as necessidades das culturas e características do efluente, pode ser um modo de aumentar o rendimento e valor comercial das culturas.

A análise sensorial das alfaces cultivada, no entanto, não mostrou diferença estatísticas significativas ($p < 0,05$), para a maioria dos atributos avaliados, entre as plantas cultivadas nas diferentes SN (efluente do PQBm+NN e comercial) demonstrando-se assim a aceitabilidade dos produtos cultivados junto do consumidor.

O uso da água, como um bem cada vez mais escasso, e de fertilizantes, como fonte de poluição ambiental pode ser minimizado com sistemas de cultivo hidropónico, recorrendo à reutilização de efluentes do tratamento de ARU. No entanto é de ressaltar a necessidade de mais pesquisa de modo a afinar os sistemas de tratamento e cultivo hidropónicos.

5. Bibliografia

Almeida, D. (2006). Manual de culturas hortícolas – Volume I. Barcarena: Editorial Presença.

APA. (2015). Plano Nacional da Água, 1–259.

APDA. (2012). FT-MB-02-BACTÉRIAS COLIFORMES. Obtido 5 de Julho de 2019, de <https://www.apda.pt/site/upload/FT-MB-02 - Bactérias coliformes.pdf>

Asaduzzaman, M., Saifullah, M., Mollick, A. S. R., Hossain, M. M., Asao, T., & Halim, G. (2015). Influence of Soilless Culture Substrate on Improvement of Yield and Produce Quality of Horticultural Crops. Em Intech open (Vol. 2, p. 64). <https://doi.org/10.5772/32009>

Asao, T. (2012). Hydroponics – a standard methodology for plant biological research. (T. Asao, Ed.) (1.a ed.). Rijeka: InTech.

Barbosa, G. L., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., ... Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(6), 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>

Bixio, D., Thoeye, C., Koning, J. De, Joksimovic, D., & Savic, D. (2006). Wastewater reuse in Europe, 187(February 2005), 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>

Boyden, B. H., & Rababah, A. (1996). nutrients from municipal wastewater, 106.

Brechner, M., & Both, A. J. (2013). Hydroponic Lettuce Handbook (1.a ed.). Ithaca: Cornell CEA.

Carvalho, M. de F. N. (2011). Diapositivos da Disciplina de Tecnologias de Tratamento de Águas, Mestrado em Tecnologias do Ambiente. Beja.

Droste. (2015). Theory and Practice of Water and Wastewater. New Delhi: Wiley Eastern Ltd India.

EEA. (2018). Utilização da água na Europa — A quantidade e a qualidade enfrentam grandes desafios. Sinais 2018 - Água é vida.

Eregno, F. E., Moges, M. E., & Heistad, A. (2017). Treated greywater reuse for hydroponic lettuce production in a green wall system: Quantitative health risk assessment. *Water (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/w9070454>

EU. (2018). Water Reuse - Environment - European Commission. Obtido 22 de Março de 2019, de <http://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>

European Commission. (2015). Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. COM(2015), 614 final, 21. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Eurostat. (2018). Eurostat - Data Explorer. Obtido 1 de Julho de 2019, de http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ww_genv&lang=en

Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems : Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *DES*, 246(1–3), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>

Haddad, M., & Mizyed, N. (2011). Evaluation of various hydroponic techniques as decentralised wastewater treatment and reuse systems. *International Journal of Environmental Studies*, 68(4), 461–476. <https://doi.org/10.1080/00207233.2011.582701>

Jaramillo, F. (2017). Wastewater Reuse in Agriculture : A Review about Its Limitations and Benefits. <https://doi.org/10.3390/su9101734>

Lazarova, V. (2017). Water Reuse in Europe Status and Recent Trends in Policy Development.

Lihua, C., Shiming, L., Xizhen, Z., & Yinghu, L. (2002). Treatment and utilization of septic tank effluent using vertical flow constructed wetlands and hydroponic, 4–7.

Madeira, L. (2016). Reutilização de águas resultantes da produção de explosivos. Universidade do algarve - faculdade de ciências e tecnologias.

Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L., & Thebo, A. (2015). Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use. Em P. Drechsel, M. Qadir, & D. Wichelns (Eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World* (1.a ed., pp. 15–25). Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9545-6>

Miguel, A. (2012). Tratamento de águas residuais urbanas com recurso a processos em série de precipitação química e neutralização NATURAL. Instituto Politécnico de Beja.

Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2014). *Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*. New Jersey: Wiley Global Education.

Ministério do Ambiente. (1997). Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho. *Diário da República*, I SÉRIE-A(139), 4775–4780.

Ministério do ambiente. (1998). Decreto-lei nº 236/98 de 1 de agosto. *Diário da república*, I série-a(176), 3676–3722.

Monte, H. M. do, & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais*. (ERSAR; ISEL, Ed.) (1.ª ed.). Lisboa: ERSAR; ISEL.

Monte, H. M., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. (E. ISEL, Ed.) (1.ª ed.). Lisboa: ERSAR; ISEL.

Nagwekar, P. R. (2014). Removal of Organic Matter from Wastewater by Activated Sludge Process - Review. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 3(5), 1260–1263.

Neczaj, E., & Grosser, A. (2018). Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers. *Proceedings*, 2(11), 614. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110614>

OECD. (2017). *Water Risk Hotspots for Agriculture*. Em *OECD Studies on Water*. Paris: OECD Publishing.

Oyama, N. (2008). *Hydroponics system for wastewater treatment treatment and reuse in horticulture*. Murdoch University.

Oyama, N., Nair, J., & Ho, G. E. (2005). Recycling of treated domestic effluent from an on-site wastewater treatment system for hydroponics. *Water Science and Technology*, 51(10), 211–219.

Parks, S., & Murray, C. (2011). *Leafy Asian vegetables and their nutrition in hydroponics* (1.ª ed.). Narara: Industry & Investment NSW.

Pilatakis, G., Manios, T., & Tzortzakis, N. (2013). The use of primary and secondary treated municipal wastewater for cucumber irrigation in hydroponic system. *Water Practice and Technology*, 8(3–4), 433–439. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.044>

Prazeres, A. R., Albuquerque, A., Luz, S., Jerónimo, E., & Carvalho, F. (2017). Hydroponic System: A Promising Biotechnology for Food Production and Wastewater Treatment. Em A. Grumezescu & A.-M. Holban (Eds.), *Food Biosynthesis* (1.ª ed., pp. 317–350). Elsevier.

- Prazeres, A. R., Rivas, J., Paulo, Ú., Ruas, F., & Carvalho, F. (2016). Sustainable treatment of different high-strength cheese whey wastewaters: an innovative approach for atmospheric CO₂ mitigation and fertilizer production. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 13062–13075. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6429-3>
- Rana, S., Bag, S. K., Golder, D., Roy, S. M., Pradhan, C., & Jana, B. B. (2011). Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. *Ecological Engineering*, 37(6), 981–988. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.01.009>
- Roberts, A. G. (2014). Predicting the future of global water stress | MIT News. Obtido 20 de Maio de 2019, de <http://news.mit.edu/2014/predicting-the-future-of-global-water-stress>
- Semerjian, L., & Ayoub, G. M. (2003). High-pH-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. *Advances in Environmental Research*, 7(2), 389–403. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00009-6)
- Sengupta, S., Nawaz, T., & Beaudry, J. (2015). Nitrogen and Phosphorus Recovery from Wastewater. *Current Pollution Reports*, 1(3), 155–166. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0013-1>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. (Metcalf & Eddy Inc., Ed.) (4.a ed.). New York: McGraw-Hill.
- Vaillant, N., Monnet, F., Sallanon, H., Coudret, A., & Hitmi, A. (2003). Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system. *Chemosphere*, 50(1), 121–129. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00371-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00371-5)
- Vicentini-Polette, C. M., Sala, F. C., Spoto, M. H. F., Ferreira, M. D., Borba, K. R., & Verruma-Bernardi, M. R. (2018). Avaliação Das Características Físico-Químicas E Aceitação Da Alface Crocanta Produzida Em Sistema Hidropônico Na Cidade De Araras, São Paulo. *DEMETERA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, 13(3), 663–673. <https://doi.org/10.12957/demetra.2018.31509>
- Wang, L., Hung, Y. T., & Shammas, N. K. (2005). *Physicochemical Treatment Processes*. Handbook of Environmental Engineering. New Jersey: Humana Press.

ANEXOS

Anexo 1 - Dados Eurostat para a produção anual de águas residuais.

Tabela 1 - Produção anual de águas residuais: total de água residual urbana (em milhões de m³) por país da Europa (2006-2015) (Eurostat, 2018).

País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Belgium	109	196	232	923	1 991,2	1 811,93	:	:	:	:
Bulgaria	403,9	391,8	421,2	426,9	484,96	477,61	483,31	513,78	500,67	528,51
Czechia	904,7	861,1	824,8	884,4	974,3	869,3	834,5	929,4	809,9	788,4
Denmark	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Germany	:	10 143,2	:	:	10 044,453	:	:	9 936,095	:	:
Estonia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Ireland	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Greece	:	2	:	2	:	:	:	:	:	:
Spain	4 310	3 939	3 805	3 912	4 183	4 302	4 312	4 388	4 352	:
France	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Croatia	:	:	192	206	205,7	209,2	259,1	295,3	268,002	256,69
Cyprus	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Latvia	119,2	128,14	112,1	146,12	120,92	158,19	141,04	150,14	111,16	109,01
Lithuania	:	:	:	:	169,82	168,93	162,93	159,68	151,83	151,21
Luxembourg	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Hungary	:	:	:	:	:	:	431,647	484,885	475,34	485,794
Malta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Netherlands	:	:	:	:	1 780,5	1 771,9	1 826,6	1 722,466	1 695,209	:
Austria	:	:	806	:	1 135,4	:	1 093	:	1 131,1	:
Poland	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Portugal	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Romania	:	:	642,2	606,1	755	752,5	985,5	947,5	918,8	901,2
Slovenia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Slovakia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	503,3
Finland	244,5	257,5	293,4	230,6	231,1	251,1	287	243,2	:	:
Sweden	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
United Kingdom	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Norway	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Switzerland	:	:	:	:	1 410	:	:	1 401	:	:
North Macedonia	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Albania	:	:	:	:	:	:	:	:	6,4	5,9
Serbia	5,8	5,1	5,3	4,2	3,7	5	5,1	5,1	4,9	5,4
Turkey	2 140,5	2 197,6	2 251,6	2 523	2 736,8	3 007,8	3 278,8	3 367,34	3 501,52	:
Bosnia and Herzegovina	3,8	4,6	5,1	5,1	5	3,7	4,1	4	4	4,7
Kosovo	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Anexo 2 – Folha de respostas para análise sensorial das alfaces cultivadas (a amostra codificada como 858 não foi analisada)



ANÁLISE SENSORIAL DE ALFACES

Nome do provador: _____ Data: ____/____/____

Faixa etária: () 19 – 25 anos () 26 – 35 anos () ≥ 35 anos ;

Possui o hábito de consumir ALFACE? () Sim () Não

Considere os vários atributos apresentados, prove as 4 amostras, e coloque uma cruz nas quadriculas cuja pontuação melhor as descreve, segundo a seguinte escala hedónica:

- 1 - AUSENTE
- 2 - POUCO INTENSO
- 3 - INTENSO
- 4 - MUITO INTENSO

APARÊNCIA VISUAL

Amostras	742	575	392	858
Descritor				
INTENSIDADE DA COR				
UNIFORMIDADE DA COR				
FOLHA MURCHA				

CHEIRO

Amostras	742	575	392	858
Descritor				
A VEGETAL FRESCO				
DESAGRADÁVEL				

SABOR

Amostras	742	575	392	858
Descritor				
DOCE				
AMARGO				
DESAGRADÁVEL				

TEXTURA

Amostras	742	575	392	858
Descritor				
CROCANTE				
TENRA				
SUCULÊNTA				

PERANTE UMA INTENÇÃO DE COMPRA, POR QUAL DAS AMOSTRAS OPTARIA?
(assinale com uma X)

Amostras	742	575	392	858

MUITO OBRIGADA PELA COLABORAÇÃO!

Figura 1 – Folha de prova utilizada no ensaio de análise sensorial.

Anexo 3 – Valores para as análises físico-químicas realizadas durante o ensaio de escolha do melhor reagente e pH de tabalho

Tabela 2 - Valores para as análises físico-químicas realizadas durante o ensaio de escolha do melhor reagente e pH de tabalho

	pH	Vol. Reagente (ml/L)	Quantidade de reagente (g/L)	Lamas (ml/L)	CE (mS/cm)	CQO (mg O ₂ /l)	Turvaça o (NTU)	pHi
Hidróxido de Cálcio	9,5	2,25	0,45	45,0	1,347	422	7,3	7,19
	10,0	3,00	0,60	47,5	1,176	431	6,4	7,20
	10,5	3,25	0,65	50,0	1,110	302	6,4	7,19
	11,0	3,50	0,70	70,0	1,069	328	5,6	7,25
	11,5	4,00	0,80	75,0	1,031	285	1,3	7,33
	12,0	4,50	0,90	75,0	1,123	315	0,5	6,97
	12,5	8,00	1,60	85,0	2,520	481	0,4	7,03
Cal Viva	9,5	2,00	0,40	95,0	1,419	500	8,3	6,84
	10,0	3,50	0,70	65,0	1,206	528	7,3	7,00
	10,5	4,00	0,80	85,0	1,140	671	8,0	6,83
	11,0	4,25	0,85	65,0	1,061	749	7,3	6,95
	11,5	4,50	0,90	60,0	1,043	668	5,3	6,83
	12,0	5,00	1,00	115,0	1,201	487	0,4	6,87
	12,5	7,00	1,40	100,0	1,739	561	2,0	6,90
Cal Hidratada	9,5	2,00	0,40	40,0	1,229	335	6,0	7,19
	10,0	2,50	0,50	42,5	1,130	211	4,3	7,19
	10,5	2,75	0,55	42,5	1,100	202	3,3	7,23
	11,0	3,00	0,60	37,5	1,065	208	3,0	7,26
	11,5	3,50	0,70	55,0	1,023	151	1,3	7,25
	12,0	4,00	0,80	60,0	0,905	175	1,0	7,24
	12,5	5,50	1,10	62,5	0,899	311	0,3	7,24

Anexo 4 – Dados de pH e CE para o ensaio de carbonatação natural (NN)(sem injeção de ar e com injeção de ar)

Tabela 3 - Valores para o pH e CE durante o ensaio de carbonatação natural sem injeção de

ar							
Sem injeção de ar							
	Dia	pH			CE (mS/cm)		
		1	2	3	1	2	3
1º Ensaio	0	11,6	11,4	11,3	1,259	1,097	1,022
	1	10,3	9,92	10,46	0,987	0,934	0,912
	2	9,75	9,3	10	0,965	1,048	0,97
	3	9,72	9,18	9,95	1,016	1,062	0,998
	4	9,62	9,01	9,41	1,024	1,075	1,042
	5	9,43	8,85	8,86	1,04	1,089	1,088
	6	9,16	8,7	8,68	1,033	1,054	1,05
	7	8,82	8,54	8,58	1,033	1,054	1,058
	8	8,39	8,58	8,39	1,044	1,156	1,162
	9	7,99	8,37	8,49	1,09	1,025	1,012
2º Ensaio	0	11,86	11,89	11,65	1,155	1,258	1,233
	1	10,19	10,53	10,39	1,02	1,059	1,08
	2	9,97	10,02	9,73	1,053	1,02	1,037
	3	9,98	9,85	9,69	1,098	1,08	1,063
	4	9,6	9,43	9,4	1,026	1,04	1,043
	5	9,18	9,64	9,33	1,061	1,023	1,049
	6	8,94	9,71	9,25	1,081	1,018	1,056
	7	8,8	9,11	8,95	1,114	1,018	1,129
	8	9,05	8,76	8,9	1,187	1,148	1,177
	9	8,98	8,64	8,75	1,191	1,146	1,163

Tabela 4 - Valores para o pH e CE durante o ensaio de carbonatação natural com injeção de

ar							
Com injeção de ar							
	Data	pH			CE (mS/cm)		
		1	2	3	1	2	3
1º Ensaio	0	12,00	11,96	11,99	1,255	1,361	1,278
	1	11,11	10,63	9,12	1,013	0,942	1,185
	2	9,60	10,16	8,68	0,999	0,955	1,157
	3	8,75	8,06	8,61	1,088	1,068	1,152
	4	8,00	7,69	8,13	1,185	1,194	1,126
2º Ensaio	0	11,98	11,80	11,60	1,296	1,249	1,225
	1	10,04	9,50	9,21	1,063	1,186	1,219
	2	8,49	8,57	8,58	1,157	1,245	1,249
	3	8,42	8,26	8,55	1,147	1,298	1,179
	4	7,81	8,18	8,50	1,081	1,145	1,118

Anexo 5 - Análises de caracterização físico-química das águas brutas e tratadas durante os ensaios em Portugal.

Tabela 5- Análises de caracterização físico-química das águas brutas e tratadas durante os ensaios em Portugal.

	Ensaio	pH	CE	Turv.	SST	CQO	CBO ₅	P _{total}	NO ₃	NO ₂	N-NH ₄ ⁺	N-Kj.	Alc. Total	Alc.de FL	Dureza Total	Dureza Cálcica	Dureza Mag.	
			mS cm ⁻¹	NTU	mg L ⁻¹	mg O ₂ L ⁻¹	mg O ₂ L ⁻¹	Mg P L ⁻¹	mg NO ₃ L ⁻¹	Mg NO ₂ L ⁻¹	mg NH ₄ ⁺ L ⁻¹	mg N L ⁻¹	mg CaCO ₃ L ⁻¹	mg CaCO ₃ L ⁻¹	mg CaCO ₃ L ⁻¹	mg CaCO ₃ L ⁻¹	mg CaCO ₃ L ⁻¹	
Água Bruta	A	1	6,87	1,438	150	250	1067	500	14,39	0,67	-	71,68	137,76	285,0	0	212,2	57,7	37,5
		2	6,88	1,457	170	269	1133	600	14,54	0,64	-	59,36	159,04	310,0	0	212,2	70,5	34,4
		3	7,00	1,304	160	243	1080	-	13,45	0,66	-	65,52	140,40	297,5	0	212,2	63,3	36,2
	B	1	6,74	1,485	210	256	1457	400	15,01	0,50	-	75,04	138,88	300,0	0	192,2	86,6	25,7
		2	6,82	1,449	240	385	1653	500	15,48	0,48	-	63,84	162,40	300,0	0	192,2	83,4	26,4
		3	6,95	1,331	230	346	1693	-	15,17	0,49	-	69,44	150,60	300,0	0	192,2	85,0	26,1
	C	1	7,15	1,233	200	269	1493	400	10,79	0,45	-	73,92	138,32	295,0	0	192,2	64,1	31,1
		2	7,23	1,335	210	333	1267	500	11,10	0,42	-	79,52	160,72	315,0	0	204,2	64,1	34,0
		3	7,70	1,190	200	308	1257	-	11,26	0,44	-	76,72	144,80	305,0	0	198,2	64,1	32,6
PQBm+NN	A	1	8,18	1,126	4,6	20	127	50	0,92	0,53	-	44,52	62,51	285,0	25,0	292,3	115,4	43,0
		2	7,99	1,081	5,2	43	137	50	1,06	0,50	-	38,64	61,44	250,0	20,0	288,3	125,0	39,7
		3	8,54	1,157	4,9	5	123	-	1,08	0,52	-	43,40	63,92	267,5	22,5	292,3	120,2	41,8
	B	1	8,28	1,298	3,8	12	200	100	1,89	0,67	-	47,04	63,03	295,0	35,0	300,3	126,7	42,2
		2	8,49	1,152	4,3	93	207	50	1,78	0,50	-	47,04	75,42	265,0	25,0	292,3	137,9	37,5
		3	8,58	1,179	4,0	7	193	-	1,84	0,59	-	45,64	68,92	280,0	30,0	296,3	132,3	39,9
	C	1	8,24	1,068	2,1	17	163	100	1,47	0,42	-	42,00	56,16	285,0	30,0	272,2	157,1	28,0
		2	8,37	1,147	2,0	10	147	50	1,51	0,50	-	38,36	54,14	290,0	20,0	252,2	163,5	21,6
		3	8,82	1,088	2,1	13	150	-	1,33	0,46	-	41,72	57,72	287,5	25,0	262,2	160,3	24,8
NFT/LED	B	1	7,37	1,438	-	-	119	40	0,90	0,56	-	2,39	9,52	210,0	0,0	200,8	71,0	31,6
		2	7,54	1,210	-	-	101	40	0,92	0,53	-	2,52	5,60	230,0	0,0	283,1	137,6	35,4
		3	7,47	1,101	-	-	99	-	0,80	0,50	-	2,24	7,42	223,3	0,0	222,9	68,4	37,5
	C	1	7,57	1,121	-	-	122	40	0,99	1,98	-	0,56	10,08	-	-	-	-	-
		2	7,41	0,990	-	-	72	40	0,97	1,09	-	1,12	2,80	-	-	-	-	-
		3	8,01	0,910	-	-	125	-	0,81	1,54	-	0,56	8,96	-	-	-	-	-

Anexo 6 – Monitorização do pH e CE durante o ensaio NFT/LED.

Tabela 6 - Monitorização do pH e CE durante o ensaio NFT/LED.

Data	Dias tratamento	Canal					
		1		2		3	
		pH	CE (mS/cm)	pH	CE (mS/cm)	pH	CE (mS/cm)
21/12/2018	1	8,24	1,575	8,45	1,580	8,48	1,426
28/12/2018	7	8,14	1,548	8,34	1,272	8,43	1,281
04/01/2019	14	7,37	1,438	7,54	1,210	7,47	1,101
04/01/2019	1	8,10	1,292	8,22	1,465	8,22	1,600
11/01/2019	7	8,06	1,270	8,18	1,422	8,23	1,498
18/01/2019	14	7,57	1,121	7,41	0,990	8,01	0,910

Anexo 7 – Dados agronómicos para as alfaces cultivadas em Portugal.

Tabela 7 - Dados agronómicos para as alfaces cultivadas em Portugal.

	ID	Subs.	Diâmetro Repolho	Nº Folhas	Peso f. Total	Peso f. Parte Aérea	Peso f. Raiz	Peso s. Total	Peso s. Parte Aérea	Peso s. Raiz	Comp. Total	Comp. Parte Aérea	Comp. Raiz	Área foliar
			cm	número	g	g	g	g	g	g	cm	cm	cm	cm2
Inicial	0B	Perlite	8,7	5	3,05	-	-	-	-	-	15,4	8,9	6,5	-
	1B	Perlite	8,0	4	3,27	-	-	-	-	-	13,8	7,8	6,0	-
	2B	Perlite	7,8	4	2,80	-	-	-	-	-	14,9	9,9	5,0	-
	3B	Perlite	12,1	4	4,11	-	-	-	-	-	14,3	8,3	6,0	-
	0D	Lã de rocha	6,0	4	2,54	-	-	-	-	-	14,3	8,8	5,5	-
	1D	Lã de rocha	5,9	4	2,66	-	-	-	-	-	15,7	9,2	6,5	-
	2D	Lã de rocha	7,5	4	3,98	-	-	-	-	-	18,1	9,6	8,5	-
	3D	Lã de rocha	7,4	4	2,84	-	-	-	-	-	13,0	6,5	6,5	-
	0B	Perlite	13,1	6	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-	-
7 dias	1B	Perlite	12,7	6	-	-	-	-	-	-	-	7,1	-	-
	2B	Perlite	10,8	5	-	-	-	-	-	-	-	6,3	-	-
	3B	Perlite	13,6	5	-	-	-	-	-	-	-	8,1	-	-
	0D	Lã de rocha	13,1	7	-	-	-	-	-	-	-	7,4	-	-
	1D	Lã de rocha	12,2	5	-	-	-	-	-	-	-	7,9	-	-
	2D	Lã de rocha	13,7	6	-	-	-	-	-	-	-	7,7	-	-
	3D	Lã de rocha	13,2	6	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-	-
14 dias	0B	Perlite	14,0	9	-	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-
	1B	Perlite	14,4	8	-	-	-	-	-	-	-	7,7	-	-
	2B	Perlite	10,1	8	-	-	-	-	-	-	-	7,7	-	-
	3B	Perlite	15,5	8	-	-	-	-	-	-	-	8,9	-	-
	0D	Lã de rocha	15,8	12	-	-	-	-	-	-	-	10,2	-	-

Tabela 7 - Dados agronómicos para as alfaces cultivadas em Portugal (continuação).

	ID	Subs.	Diâmetro Repolho	Nº Folhas	Peso f. Total	Peso f. Parte Aérea	Peso f. Raiz	Peso s. Total	Peso s. Parte Aérea	Peso s. Raiz	Comp. Total	Comp. Parte Aérea	Comp. Raiz	Área foliar
			cm	número	g	g	g	g	g	g	cm	cm	cm	cm2
14 dias	1D	Lã de rocha	13,9	8	-	-	-	-	-	-	-	8,6	-	-
	2D	Lã de rocha	16,3	8	-	-	-	-	-	-	-	7,9	-	-
	3D	Lã de rocha	14,0	8	-	-	-	-	-	-	-	8,2	-	-
	0B	Perlite	17,2	14	-	-	-	-	-	-	-	12,2	-	-
	1B	Perlite	14,7	10	-	-	-	-	-	-	-	9,1	-	-
	2B	Perlite	11,7	12	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-
21 dias	3B	Perlite	15,0	12	-	-	-	-	-	-	-	10,4	-	-
	0D	Lã de rocha	17,3	17	-	-	-	-	-	-	-	12,8	-	-
	1D	Lã de rocha	15,0	9	-	-	-	-	-	-	-	10,9	-	-
	2D	Lã de rocha	14,6	11	-	-	-	-	-	-	-	9,9	-	-
	3D	Lã de rocha	16,1	12	-	-	-	-	-	-	-	10,2	-	-
	0B	Perlite	20,0	17	42,60	29,25	13,35	-	1,641	-	43,5	14,2	29,3	529,725
28 dias	1B	Perlite	17,0	12	31,88	20,54	11,34	-	1,004	-	35,0	10,0	25,0	414,773
	2B	Perlite	13,0	15	26,44	16,68	9,76	-	0,830	-	34,0	8,5	25,5	401,546
	3B	Perlite	16,0	15	38,78	26,13	12,65	-	1,260	-	34,0	11,5	22,5	444,062
	0D	Lã de rocha	21,0	21	67,49	46,99	20,50	-	2,174	-	41,5	15,0	26,5	632,447
	1D	Lã de rocha	18,0	11	44,91	26,79	18,12	-	1,263	-	39,2	12,5	26,7	427,107
	2D	Lã de rocha	17,0	13	36,71	24,54	12,17	-	1,170	-	37,5	11,0	26,5	446,272
	3D	Lã de rocha	19,0	15	34,43	22,40	12,03	-	1,080	-	33,0	12,3	20,7	506,505

Anexo 8 – Características dos provadores para a análise sensorial das alfaces cultivadas em Portugal e opção de compra.

Tabela 8- Características dos provadores para a análise sensorial das alfaces cultivadas em Portugal e opção de compra.

ID	Faixa Etária	Consome alface habitualmente	Opção de Compra	
1	>35	Sim		742
2	>35	Sim		392
3	15-25	Sim		392
4	15-25	Sim		575
5	26-35	Sim		742
6	>35	Sim		742
7	>35	Sim		742
8	>35	Sim		575
9	>35	Sim		575
10	15-25	Sim		392
11	>35	Sim	nenhuma	
12	>35	Sim		575
13	>35	Sim	n/d	
14	>35	Sim		742
15	15-25	Sim		392
16	15-25	Sim		392
17	>35	Sim		392
18	n/d	Sim		575
19	15-25	Sim		575
20	n/d	n/d		392
21	n/d	Sim		742
22	n/d	Sim		724
23	n/d	Sim		742
24	15-25	Sim		575
25	15-25	Sim		742
26	26-35	Sim		392
27	26-35	Sim		575
28	>35	Sim		575
29	n/d	n/d		575
30	n/d	Sim		392

Anexo 9 – Análise de preferência para a alface cultivada com AR tratada por PQBm+NN+NFT/LED, substrato Lã de Rocha.

Tabela 9 - Análise de preferência para a alface cultivada com AR tratada por PQBm+NN+NFT/LED, substrato Lã de Rocha.

ID	Aparência Visual			Cheiro			Sabor			Textura		
	Intensidade da cor	Uniformidade da cor	Folha murcha	Vegetal Fresco	Desagradável	Doce	Amargo	Desagradável	Crocante	Tenra	Suculenta	
1	4	3	1	3	1	3	1	1	3	3	3	
2	3		1	4	1	2	3	2	3	2	3	
3	2	2	2	2	1	1	2	1	3	2	1	
4	3	3	1	4	1	1	2	2	4	2	3	
5	3	3	4	3	1	3	1	1	4	2	2	
6	4	4	1	4	1	1	2	1	3	2	2	
7	3	4	1	4	1	3	2	1	4	4	4	
8	3	1	1	4	1	2	1	1	4	2	2	
9	3	3	2	1	1	1	2	3	3	3	2	
10	3	2	1	3	1	1	2	1	3	2	1	
11	3	2	4	3	1	2	2	1	2	2	2	
12	3	2	1	4	1	2	4	1	4	2	2	
13	4	3	3	1	1	2	4	1	4	4	4	
14	3	3	2	2	1	1	1	1	3	4	4	
15	4	3	1	2	1	2	1	1	1	2	2	
16	3	3	1	3	1	3	1	1	1	3	3	
17	3	3	2	2	2	3	2	1	2	3	3	
18	3	3	1	2	3	2	2	3	3	2	2	
19	4	4	2	3	1	2	3	1	3	4	3	
20	3	3	1	2	1	1	2	1	1	3	2	
21	4	2	1	3	1	2	1	1	2	3	2	
22	3	3	2	3	1	2	3	1	2	3	3	
23	1	1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	
24	4	4	1	3	1	2	1	1	2	2	2	
25	3	2	2	3	1	2	2	1	3	2	2	
26	3	3	1	3	1	3	2	1	2	3	3	
27	2	3	3	3	1	2	3	2	3	2	2	
28	3	2	1	2	1	1	2	1	2	1	3	
29	4	3	1	3	1	4	2	1	3		3	
30	4	3	1	3	1	3	1	1	4	2	3	

Anexo 10 - Análise de preferência para a alface cultivada com SN comercial, substrato Lã de Rocha.

Tabela 10 - Análise de preferência para a alface cultivada com SN comercial , substrato Lã de Rocha.

ID	Intensidade da cor	Aparência Visual			Cheiro		Sabor			Textura		
		Uniformidade da cor	Folha murcha	Vegetal Fresco	Desagradável	Doce	Amargo	Desagradável	Crocante	Tenra	Suculenta	
1	4	3	2	3	1	3	1	3	1	3	3	3
2	4	0	0	4	1	3	2	2	4	4	4	4
3	4	3	1	2	1	1	3	1	3	3	1	1
4	4	4	1	4	1	3	1	1	4	2	3	3
5	3	3	2	2	1	2	1	1	2	4	3	3
6	4	4	1	4	1	1	2	1	3	2	2	2
7	2	4	1	4	1	3	2	1	4	4	4	4
8	4	1	1	4	1	2	1	1	4	3	3	3
9	4	4	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3
10	4	3	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3
11	2	2	2	3	1	2	3	3	2	2	2	2
12	4	3	1	3	1	1	3	1	3	3	2	2
13	4	3	4	1	1	2	4	1	3	3	3	3
14	3	3	3	2	1	1	1	1	3	1	1	1
15	4	3	1	3	1	2	1	1	1	2	2	2
16	3	3	1	3	1	3	1	1	1	3	3	3
17	3	3	2	3	3	3	3	1	2	2	2	2
18	2	3	1	3	2	2	2	2	3	3	2	2
19	3	3	1	2	1	3	2	1	4	4	4	4
20	4	3	1	2	1	1	2	1	1	3	1	1
21	4	2	1	3	1	1	2	2	1	3	3	3
22	4	3	3	1	2	3	2	1	1	2	2	2
23	4	3	1	3	2	2	1	2	2	3	3	3
24	3	3	1	2	1	1	1	1	3	1	3	3
25	3	3	4	4	1	2	1	1	3	2	2	2
26	3	3	1	3	1	3	1	1	1	4	4	4
27	2	2	3	3	1	2	1	1	2	4	2	2
28	3	2		2	1	1	1	1	2	3	2	2
29	4	4	1	4	1	3	3	1	4		4	4
30	4	2	1	3	1	2	3	1	2	3	3	3

Anexo 11- Análise de preferência para a alface cultivada com AR tratada por PQBm+NN+NFT/LED , substrato Perlite.

Tabela 11 - Análise de preferência para a alface cultivada com AR tratada por PQBm+NN+NFT/LED , substrato Perlite.

ID	Intensidade da cor	Aparência Visual		Cheiro			Sabor			Textura		
		Uniformidade da cor	Folha murcha	Vegetal Fresco	Desagradável	Doce	Amargo	Desagradável	Crocante	Tenra	Suculenta	
1	2	2	3	1	3	1	2	3	2	2	2	2
2	2	2	0	0	3	1	3	1	1	3	4	3
3	2	2	2	1	3	1	2	1	1	4	3	2
4	3	3	3	1	4	1	2	3	1	4	1	3
5	2	3	3	3	1	1	2	2	1	3	3	3
6	3	3	3	2	4	1	1	2	1	2	2	2
7	2	4	1	1	4	1	3	2	1	4	4	4
8	3	3	1	1	4	1	2	1	1	2	3	3
9	2	3	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2
10	2	3	1	1	3	1	2	1	1	3	4	3
11	2	3	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2
12	2	2	1	2	3	1	1	2	1	3	3	2
13	2	1	2	1	1	1	2	4	3	1	1	1
14	4	3	2	2	4	1	1	1	1	4	1	2
15	3	2	1	1	3	1	2	1	1	2	2	2
16	2	3	1	1	3	1	3	1	1	3	3	3
17	2	2	2	2	3	3	2	3	1	3	3	4
18	3	3	2	2	1	4	2	3	4	2	2	2
19	2	2	1	1	2	1	2	2	1	3	3	2
20	2	3	2	2	2	1	1	2	1	1	3	2
21	3	3	2	2	2	1	2	2	3	1	2	3
22	2	2	1	1	3	1	2	2	2	3	2	3
23	4	1	2	2	3	2	1	2	3	3	3	3
24	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	3	2
25	2	4	2	2	2	1	1	3	1	2	3	3
26	2	3	1	1	3	1	3	1	1	2	4	3
27	4	3	1	1	2	2	1	3	2	2	2	3
28	2	3			3	1	1	1	1	2	2	2
29	2	2	4		1	2	1	3	1	2		2
30	2	4	1		3	4	4	2	1	4	1	2

Anexo 12– Valores agronômicos para as plantas cultivadas na Antártica

Tabela 12 - Valores agronômicos para as plantas cultivadas na Antártica.

Alface		Comprimento			Nº Folhas (nº)	Diâmetro repolho (cm)	Peso		
		Total (cm)	Foliar (cm)	Raiz (cm)			Total (g)	Foliar (g)	Raiz (g)
Inicial	A	12,3	3,9	8,4	3	5,2	1,11	-	-
	B	12,3	3,8	8,5	4	4,0	1,18	-	-
	C	10,1	3,3	6,8	4	4,8	1,01	-	-
	D	12,6	3,6	9,0	3	5,1	1,21	-	-
7 dias	A	-	5,0	-	4	5,5	-	-	-
	B	-	4,4	-	4	6,0	-	-	-
	C	-	3,9	-	4	6,0	-	-	-
	D	-	5,5	-	5	6,0	-	-	-
Final	A	13,2	6,7	6,5	6	10,0	2,937	2,034	0,903
	B	12,7	5,8	6,9	6	9,0	2,826	1,867	0,958
	C	13,0	5,7	7,3	7	8,5	2,938	1,925	1,014
	D	14,5	6,4	8,1	7	11,0	3,299	2,174	1,125

Anexo 13 – Valores dos parâmetros físico-químicos analisados nas ARD

Tabela 13 - Valores dos parâmetros físico-químicos analisados nas ARDA.

Parâmetros	Unidades	Tipo de Água	Réplica		
			1	2	3
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	ARDB	185,0	185,0	185,0
		Após PQBm+NN	235,0	225,0	225,0
		Após NFT/LED	145,0	135,0	145,0
Dureza Total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	ARDB	28,0	20,0	28,0
		Após PQBm+NN	80,1	80,1	80,1
		Após NFT/LED	100,0	92,1	104,1
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ L ⁻¹	ARDB	8,0	6,4	8,0
		Após PQBm+NN	24,0	22,4	22,4
		Após NFT/LED	38,5	40,1	38,5
CQO	mg O ₂ L ⁻¹	ARDB	830	863	857
		Após PQBm+NN	353	380	343
		Após NFT/LED	160	93	113
P	mg P L ⁻¹	ARDB	11,2	17,0	12,0
		Após PQBm+NN	3,1	3,9	2,5
		Após NFT/LED	0,6	1,7	0,4
NH₄⁺	mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹	ARDB	43,4	45,0	47,6
		Após PQBm+NN	43,1	44,4	46,4
		Após NFT/LED	22,2	20,4	26,5
N-Kjeldhal	mg N L ⁻¹	ARDB	76,2	79,0	83,5
		Após PQBm+NN	52,1	52,1	57,2
		Após NFT/LED	29,7	23,5	27,5

